

Tero Lahikainen

# SÄTEILYJÄÄHDYTYS LAITETILASSA

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


26.04.2015




MAMK

University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <b>MAMK</b> University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  26.4.2015
<b>Tekijä(t)</b>  Tero Lahikainen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Talotekniikka, LVI
<b>Nimeke</b>  Säteilyjäähdytys laitetilassa	
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin säteilyjäähdytyksen soveltuvuutta laitetilan jäähdyttämiseen. Opinnäytetyöni aiheen minulle antoi Insinööritoimisto J. Markkanen Oy. Opinnäytetyön aihe on uusi ja mielenkiintoinen, sillä säteilyjäähdytys on poikkeava tapa jäähdyttää laiteiloja. Säteilyjäähdytyksessä jäähdytysteho tuodaan tilaan säteilyä ja vapaata konvektiota käyttäen. Säteilyjäähdytyspaneelin jäähdytysteho on noin 100W/m<sup>2</sup>.</p> <p>Opinnäytetyöhön liittyvät mittaukset tehtiin Medikro Oy:n toimitiloissa maaliskuussa 2015. Tutkimuksessa mitattuja suureita olivat lämpötila sekä kosteus. Myös tilan ilmanvaihto mitattiin. Tutkimuksen apuna käytettiin myös mittausten yhteydessä kuvattua lämpökameran kuvamateriaalia.</p> <p>Säteilyjäähdytys ei ole yleinen laitetilojen jäähdytystapa. Säteilyjäähdytys toimii hyvin sellaisten tilojen jäähdytyksessä joissa työskentelee tai oleskelee ihmisiä, sillä säteilyjäähdytys koetaan miellyttäväksi eikä se aiheuta vedon tunnetta. Laitetiloissa säteilyjäähdytyksen suurimpia ongelmia on saada tarvittava jäähdytysteho huoneeseen ilman kondensoitumisen aiheuttamia ongelmia.</p> <p>Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää voitaisiinko säteilyjäähdytystä käyttää laitetilojen jäähdytystapana. Tutkimuksen perusteella säteilyjäähdytystä voitaisiin hyödyntää pienissä laitetiloissa, joissa jäähdytystehoa ei tarvita paljoa. Suurempaa jäähdytystarvetta varten jäähdytyspaneelien pinta-alat kasvavat kohtuuttoman suureksi.</p>	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Säteilyjäähdytys, laitetila, konesali, jäähdytyspaneeli	
<b>Sivumäärä</b>  37+(11)	<b>Kieli</b>  Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Jukka Räisä	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Insinööritoimisto J. Markkanen Oy

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b>  26.04.2015
<b>Author(s)</b>  Tero Lahikainen	<b>Degree programme and option</b>  Building services engineering, HVAC
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Radiant cooling in a dataroom	
<b>Abstract</b>  <p>This thesis was given to me by Insinööritoimisto J. Markkanen Oy. Subject of my thesis was new and interesting. The purpose of this thesis was to study how radiant cooling works as main cooling system of a data room. By using radiant cooling heat transfers mainly by radiation and natural convection. cooling flow density of an effective cooling panel is roughly 100W/m<sup>2</sup>.</p> <p>All measurements of my bachelor's thesis were done in Medikro Oy facilities. Timeline of measurements was March 2015. Measured quantities were temperature and relative humidity. I also measured airflows. Measurements included also thermal imaging. Thermal imaging was used to picture thermal behavior of radiant coolingpanels and server equipment.</p> <p>Radiant cooling is not the most common way to cool data rooms. Radiant cooling owns its place when it is used in rooms where people work or stay, because radiant cooling is experienced as pleasant form of cooling and it doesn't include draft. Biggest problem with radiant cooling in datarooms is effective cooling flow without condensation.</p> <p>The main goal of my bachelor's thesis was to figure out if radiant cooling can be the main cooling system of a data room. Radiant cooling could be practical in small datarooms when cooling demand is low. Due to low cooling flow density needed panel area for higher cooling loads might be too high.</p>	
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Radiant cooling, dataroom, data center, radiant coolingpanel	
<b>Pages</b>  37+(11)	<b>Language</b>  Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b>  	
<b>Tutor</b>  Jukka Räisä	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Insinööritoimisto J. Markkanen Oy

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	LÄMPÖSÄTEILY .....	1
2.1	Emissiivisyys .....	3
2.2	Näkyvyyskerroin.....	4
2.3	Säteilyjäähdytys .....	6
2.3.1	Lämmitys ja jäähdytyspaneelit .....	7
2.3.2	Paneelien lämpösäteilyn lämpövirta .....	9
2.3.3	Konvektion aiheuttama lämpövirta.....	12
2.3.4	Rakenteisiin upotettu pintajäähdytys .....	14
3	LAITETILA .....	15
3.1	Lämpökuormat.....	15
3.2	Sisäilmasto.....	16
4	LAITETILOJEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT .....	18
4.1	Ilmajäähdytys.....	19
4.1.1	Kuuma/kylmäkäytävä .....	20
4.1.2	Lattiapuhallus.....	21
4.1.3	Paikallinen ilmanjako.....	21
4.1.4	Nestejäähdytys .....	22
5	KOHDE.....	23
5.1	Laitetilan laitteisto .....	25
6	MITTAUSMENETELMÄ.....	26
6.1	Dataloggerimittaus.....	26
6.2	Termoparimittaus.....	27
6.3	Lämpökamerakuvaus Fluke Ti20 .....	29
6.4	Laitetilan ilmanvaihdon mittaaminen .....	29
7	TULOKSET .....	30
7.1	Ilmanvaihdon jäähdytysteho .....	30
7.2	Dataloggerimittaukset.....	30
7.3	Termoparimittauksen tulokset .....	31
7.4	Lämpökamerakuvauksen tulokset .....	33
7.5	Laitehuoneen laitteiden sähkönkulutus.....	33

8	YHTEENVETO .....	34
---	------------------	----

	LÄHTEET .....	36
--	---------------	----

#### LIITTEET

- 1 Serverikaapin laitteisto ja laitteiston lämpökamera kuvat
- 2 Termoparimittauksen kuvaaja
- 3 Termoparimittauksen tulokset ja säteilyn sekä konvektion lämpövirta
- 4 Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin edestä
- 5 Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin takaa

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheen toimeksiantajana on kuopiolainen LVIA- ja sähkösuunnittelupalveluja tarjoava yritys Insinööritoimisto J. Markkanen Oy. Opinnäytetyön mittaukset suoritettiin Kuopiossa toimivan Medikro Oy:n toimitiloissa. Medikro Oy on perustettu vuonna 1977. Yritys valmistaa, kehittää ja markkinoi lääketieteellisiä mittalaitteita. Yrityksen uudet toimitilat valmistuivat vuonna 2013. Toimitilojen jäähdytys ja lämmitys toteutettiin kattoon asennetun paneelijärjestelmän sekä ilmanvaihdon kautta. Toimitiloihin ei rakennusvaiheessa tehty erillistä jäähdytettyä laitetilaa.

Opinnäytetyöni tarkoituksena on tutkia säteilyjäähdytystä laitetilassa. Tavoitteena on selvittää soveltuuko säteilyjäähdytys laittilojen jäähdytykseen. Medikron toimitilassa sijaitseva varastotila muutettiin laitetilaksi, laitetilaan asennettiin jäähdytys. Käyttäjän toiveesta serveritilan jäähdytys toteutettiin jäähdytyspaneelilla vapaajäähdytystä hyödyntäen. LVIA- suunnitelmat teki Insinööritoimisto J. Markkanen Oy:n ja asennuksen suoritti Ilmapörssi Oy.

Opinnäytetyön mittaukset tehtiin laitetilassa remontin valmistumisen jälkeen. Mittauslaitteistona käytettiin kahta dataloggeria, lämpökameraa, laitehuoneen laitteiston sähkönkulutusta mittaavia mittareita, sekä tietokoneeseen liitettyä termoparidataloggeria kahdeksalla termoparilla.

Säteilyjäähdytystä käytettäessä ongelmaksi voi muodostua säteilyjäähdytyspaneelien vaatima suuri pinta-ala. Toinen ongelma on vesiputket ja niiden liitokset. Laitetilassa kulkevat vesiputket voivat hajotessaan aiheuttaa suurta vahinkoa sähkölaitteille.

## 2 LÄMPÖSÄTEILY

Lämmönsiirtymisen kolme eri tapaa ovat johtuminen, konvektio ja lämpösäteily. Lämpösäteily on energiaa. Lämpösäteily siirtyy sähkömagneettisina aaltoina pintojen välillä. Säteilylämmönsiirto ei suoraan vaikuta huoneilman lämpötilaan, vaan lämpösäteily lämmittää pintoja ja nämä sitten lämmittävät konvektion muodossa ilmaa. [1, s. 34.]

Kaikki pinnat lähettävät oman lämpötilansa mukaista sähkömagneettista lämpösäteilyä pinnan lämpötilan ollessa korkeampi kuin absoluuttinen nollapiste. Pinnan lähettämä lämpösäteilyn aallonpituus riippuu lämpötilasta, mitä korkeampi lämpötila pinnalla on sitä lyhytaaltoisempaa sähkömagneettinen lämpösäteily on. Lämpösäteilyn aallonpituus tavallisissa huonelämpötiloissa 20-21°C on noin 8-12  $\mu\text{m}$ . Näkyvän valon aallonpituus on noin 0,35-0,70  $\mu\text{m}$ . Lämpösäteilyn aallonpituus on lyhyimmillään noin 0,7  $\mu\text{m}$ , joka vastaa auringon pinnan lämpötilassa 5800 K lähettämää säteily-spektrin huippua. Lämpösäteilyä lähettävä pinta lähettää säteilyä, joiden aallonpituudet ovat eripituisia. Spektrillä on hallitseva aallonpituus sekä huippukohta. Wienin siirtymälain mukaan tietynlämpöisen pinnan säteilyn spektrin huippua vastaava aallonpituus on  $\lambda_{max} = 3000\mu/T[\text{K}]$ . Esimerkkinä lämpötilat ja niiden aallonpituudet pinnan lähettämälle lämpösäteilylle ovat 300 K (n.10  $\mu\text{m}$ ), 600 K (n.5  $\mu\text{m}$ ), 1000 K (n.3  $\mu\text{m}$ ) ja 1200 K (n.2,5  $\mu\text{m}$ ). [2, s.11]

Lämpösäteily siirtyy valonnopeudella suoraviivaisesti, ja se voi myös heijastua kappaleesta. Lämpösäteily muuttaa kiinteiden kappaleiden lämpötilaa, kun lämpösäteilyn energia absorboituu kappaleeseen. Lämpösäteily ei kuitenkaan muuta huomattavasti läpi kulkemansa ilman lämpötilaa. Lämpösäteilyn käyttäytymiseen vaikuttavat lähettävän ja vastaanottavan pinnan lämpötilat, lähettävän eli emittoivan pinnan emissiivisyys sekä vastaanottavan pinnan heijastuskyvyistä, absorptiosta ja transmittanssista sekä lähettävän ja vastaanottavan pinnan välisestä näkyvyyskertoimesta. Säteilevän pinnan rakenne on tärkeä, yleisesti karkeat pinnat omaavat matalan heijastuksen ja suuren emittanssin/absorptanssin. Tasaiset tai kiillotetut metallipinnat taas omaavat korkean heijastuksen ja matalan emittanssin/absorptanssin.

Esimerkki lämpösäteilystä on lämmöntunne aurinkoisena viileänä päivänä. Osa säteilystä tulee suoraan auringosta ja osa heijastuu ympäröivistä pinnoista. Kun pilvi kulkeutuu auringon eteen, kylmäntunne alkaa. Kylmäntunne johtuu lämpösäteilyn vähentymisestä, vaikkakaan ilman lämpötila ei muutu juurikaan. [3, kappale 6.1.]

Pinnan emittoiva säteilyenergian määrä riippuu absoluuttisesta lämpötilasta sekä pinnan ominaisuuksista. Emittoitu kokonaisenergia mustalle pinnalle saadaan Stefan-Boltzmannin laista kaava 1. [4, kappale 3,8.]

$$W_b = \sigma T^4 \quad (1)$$

Jossa

$W_b$	Mustan kappaleen säteilyteho, W/m <sup>2</sup>
$\sigma$	Stefan-Boltzmannin vakio [5,670*10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )]
$T$	Lämpötila [K]

Mustan kappaleen säteilyteho on maksimi säteilyteho annetussa lämpötilassa. Yleisesti käytetyt materiaalit emittoivat vähemmän. Muun kuin mustan pinnan emittoiva säteilyteho ympäristöön kaavassa 2. [4, kappale 3,8.]

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Jossa

$W$	Emittoivan pinnan säteilyteho, W/m <sup>2</sup>
$\varepsilon$	Emissiivisyys
$\sigma$	Stefan-Boltzmannin vakio, [5,670*10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )]
$T$	Lämpötila, [K]

## 2.1 Emissiivisyys

Pinnan säteilyominaisuudet vaihtelevat säteilyn aallonpituuden mukaan. Pinnan emissiivisyys pystytään ilmaisemaan pinnan kokonaissäteilylämpövirran ( $q$ ) suhteena mustan kappaleen lämpövirtaan ( $q_o$ ). Pintojen emissiivisyys vaihtelee välillä 0-1, jossa emissiivisyyden arvo 1 vastaa kokonaan mustan kappaleen emissiivisyyttä. Yleisesti käytetyt lämpöä emittoivat pinnat voivat olla pitkäaaltoiselle lämpösäteilylle emissiivisyydeltään jopa 0,95. Metallipinnat ovat kuitenkin emissiivisyydeltään pienempiä. Emissiivisyyteen vaikuttaa tärkeästi myös pinnan väri, joka vaikuttaa pinnan lyhytaaltoiseen säteilyyn merkittävästi. Kaavalla 3 voidaan laskea pinnan emissiivisyys [1, s. 10.]

$$\varepsilon = \frac{q}{q_o} \quad (3)$$

Jossa

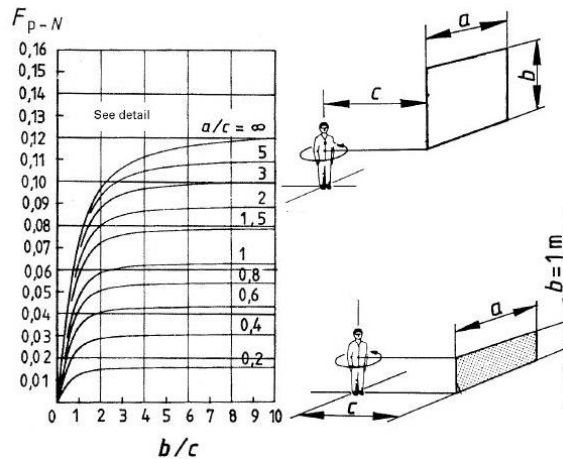
$\varepsilon$	Pinnan emissiivisyys
---------------	----------------------



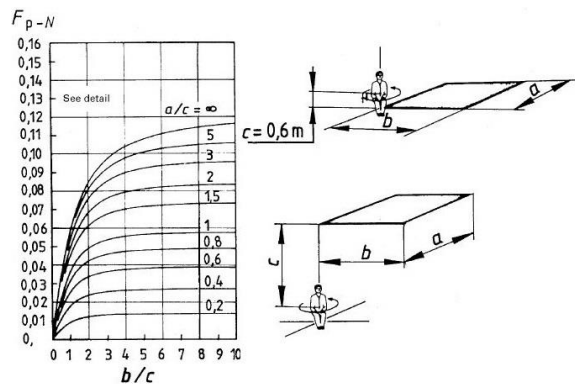
$q$	Pinnan säteilylämpövirta, $\text{W/m}^2$
$q_0$	Ideaalisen mustan pinnan säteilylämpövirta, $\text{W/m}^2$

## 2.2 Näkyvyyskerroin

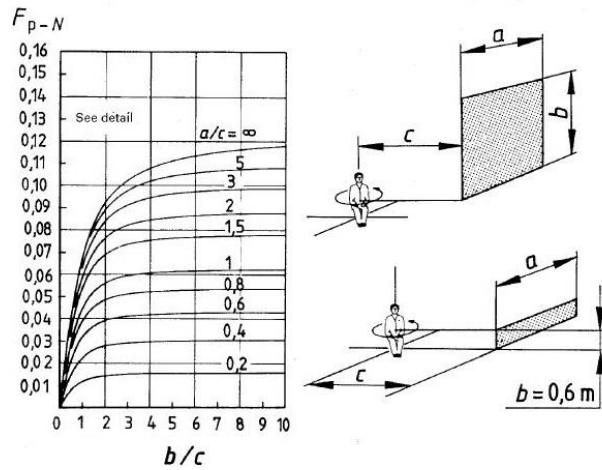
Näkyvyyskerroin esittää kappaleesta lähtevän lämpösäteilyn osumista tarkasteltavaan pintaan. Näkyvyyskerroin on huomioitu tarkasteltavan pinnan koko, välimatka ja muoto. Näkyvyyskerroinien summa tarkasteltavan pinnan (esim.) henkilön ja huoneen kaikkien pintojen välillä on 1. Kuvissa 1..4 on esitetty näkyvyyskerroimia istuvan tai seisovan henkilön sekä tarkasteltavan pinnan välillä. [1, s. 10.]



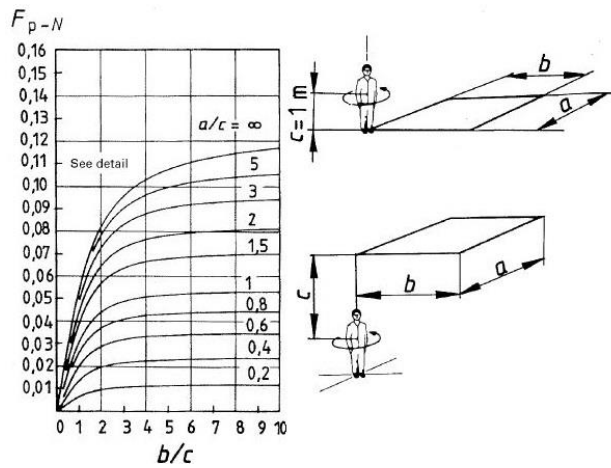
**KUVA 1. Näkyvyyskerroin seisovan henkilön ja pystysuoran suorakulmion muotoisen pinnan välillä [5]**



**KUVA 2. Näkyvyyskerroin istuvan henkilön ja vaakasuoran suorakulmion muotoisen pinnan välillä [5]**



**KUVA 3. Näkyvyyskerroin istuvan henkilön ja pystysuoran suorakulmion muotoisen pinnan välillä [5]**



**KUVA 4. Näkyvyyskerroin seisovan henkilön ja vaakasuoran suorakulmion muotoisen pinnan välillä [5]**

Näkyvyyskerroin tarkasteltavalle pinnalle voidaan laskea kaavalla 4 [5].

$$F_{p-N} = F_{max} \left( 1 - e^{-\frac{(a/c)}{\tau}} \right) * \left( 1 - e^{-\frac{(b/c)}{\gamma}} \right) \quad (4)$$

Jossa

$F_{max}$

Katsotaan taulukosta (1)

$a$

Tarkasteltavan pinnan mitta (kuvat 1-4), m

$b$

Tarkasteltavan pinnan mitta (kuvat 1-4), m

$c$	Tarkasteltavan pinnan ja henkilön välinen etäisyys (kuvat 1-4), m
$\tau$	Lasketaan kaavalla 5.
$\gamma$	Lasketaan kaavalla 6.

Kaavassa 4 tarvittava  $\tau$  lasketaan kaavalla 5 [5].

$$\tau = A + B \left( \frac{a}{c} \right) \quad (5)$$

Jossa

$A$	Taulukosta 1 saatava arvo
$B$	Taulukosta 1 saatava arvo

Kaavassa 4 tarvittava  $\gamma$  lasketaan kaavalla 6 [5].

$$\gamma = C + D \left( \frac{b}{c} \right) + E \left( \frac{a}{c} \right) \quad (6)$$

Jossa

$C$	Taulukosta 1 saatava arvo
$D$	Taulukosta 1 saatava arvo
$E$	Taulukosta 1 saatava arvo

	$F_{\max}$	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$
SEATED PERSON, figure B.2 Vertical surfaces: Wall, Window	0,118	1,216	0,169	0,717	0,087	0,052
SEATED PERSON, figure B.3 Horizontal surfaces: Floor, Ceiling	0,116	1,396	0,130	0,951	0,080	0,055
STANDING PERSON, figure B.4 Vertical surfaces: Wall, Window	0,120	1,242	0,167	0,616	0,082	0,051
STANDING PERSON, figure B.5 Horizontal surfaces: Floor, Ceiling	0,116	1,595	0,128	1,226	0,046	0,044

**TAULUKKO 1. Lukuarvoja näkyvyyskertoimen laskemiseen [5]**

### 2.3 Säteilyjäähdytys

Säteilyjäähdytystä käytettäessä tilassa oleva ihminen jäähtyy, kun kehon lämpö siirtyy läheisiin pintoihin. Pintojen lämpötilaa pidetään muutama aste viileämpänä kuin ympäristön lämpötilaa. Tarvittava teho siirretään jäähdytyksen siirtimiltä säteilypaneeleihin tai betonilaattaan käyttämällä väliaineena vettä. Ilmajäähdytykseen verrattuna säästetään energiaa, sillä veden energiansiirtokapasiteetti on huomattavasti korkeampi kuin ilman. Tilojen jäähdytyslaitteiden menoveden lämpötiloina käytetään ympäristön lämpötiloista vain muutamalla asteella eroavia lämpötiloja. Alhaisista lämpötiloista ja pienistä lämpötilaeroista johtuen jäähdytyspintojen tulee olla pinta-alaltaan isoja, jotta tarvittava jäähdytysteho saadaan siirrettyä. Suurten säteilypintojen hyvänä puolena on se, että saavutetaan tasainen lämpötila huonetilaan. Lämpötilojen ollessa alhaisia on tärkeää pitää menoveden lämpötila kuitenkin korkeammalla kuin kastepiste, jotta vältetään kondenssilta. Tästä johtuen rakennusten ilmanvuotavuuden tulisi olla pieni. Korkean kosteuden omaavilla alueilla on hyvä kuivattaa tuloilmaa. [6, s. 2-3.]

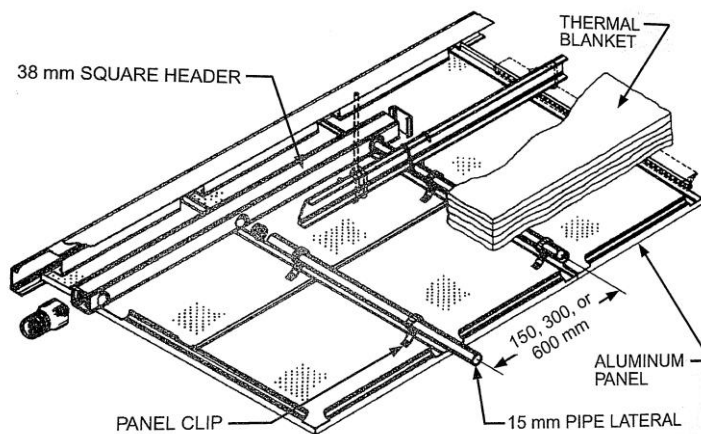
Säteilyjäähdytystä käytettäessä lämmönsiirtokerroin pinnan ja huoneilman välillä riippuu pintalämpötilan suhteesta huonelämpötilaan sekä pinnan sijainnista. Lämpötiloissa 15-30 °C on säteilylämmönsiirtokerroin vakio n. 5,5W/m<sup>2</sup>K. Kuitenkin konvektiivinen lämmönsiirtokerroin vaihtelee pintamateriaalista, pinnan ja huonelämpötilan eroista sekä ilman nopeudesta riippuen. [1, s. 23.]

### **2.3.1 Lämmitys ja jäähdytyspaneelit**

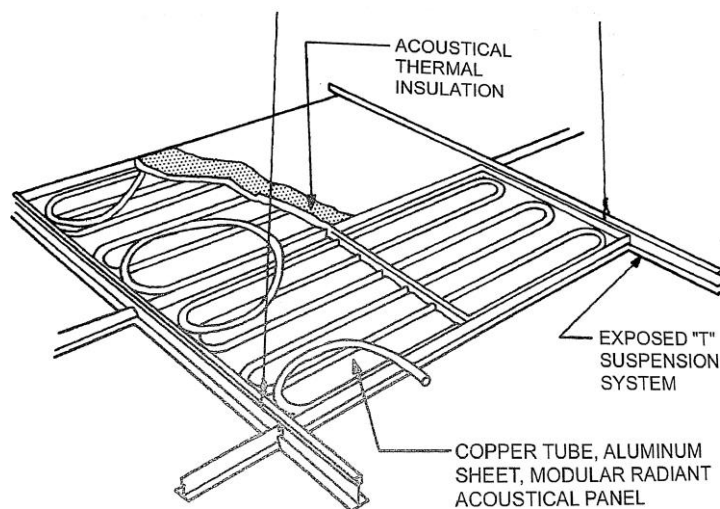
Lämmitys ja jäähdytyspaneeleissa lämpö siirtyy lämmittävän tai jäähdyttävän pinnan sekä huoneen ihmisten välillä. Paneelit yleensä ripustetaan betonilaatan tai jonkin muun vaakasuoran rakenteen alle. Kattoon ripustetut säteilyjärjestelmät voivat peittää katto-alan kokonaisuudessaan, niitä voidaan käyttää myös lisänä rakenteisiin upotettujen järjestelmien kanssa nopeita lämpötilamuutoksia varten. Alumiinipaneeleista rakennettu jäähdytysjärjestelmä on tällä hetkellä suosituin paneelijärjestelmistä. [1, s. 25.]

Kattoon ripustettujen metallisten paneelien lämmönsiirtoputket ovat usein valmistettu kuparista tai teräksestä. Käytetyillä materiaaleilla on hyvä lämmönjohtavuus. Pieni vesitilavuus ja pieni koko mahdollistavat pienen inertian. [7, s. 1863.]

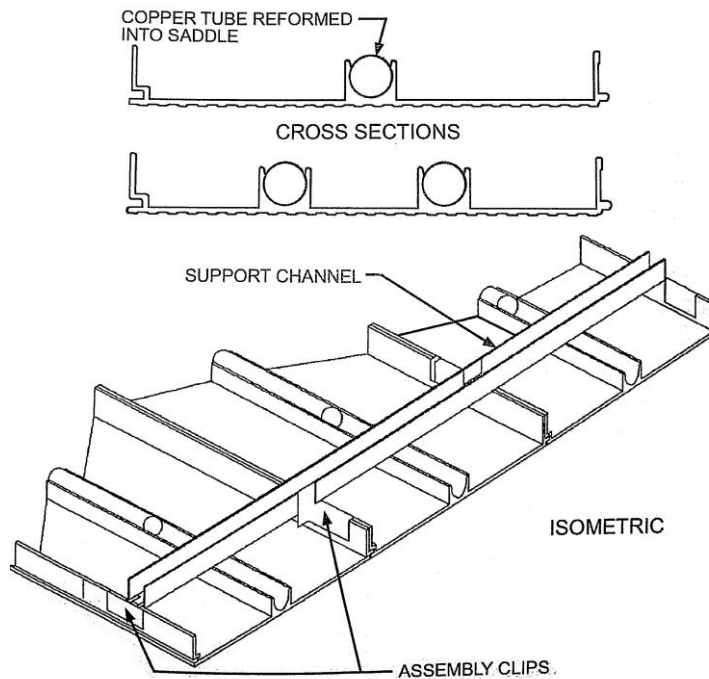
Paneelijärjestelmätyyppejä on kolme erilaista. Ensimmäinen järjestelmätyyppi on esitetty kuvassa 5. Se rakentuu alumiinipaneeleista, joissa on halkaisijaltaan noin 15 mm liitosputkia. Putket on asennettu 150 mm, 300 mm tai 600 mm välein. Putket ovat yhdistetty neliömäisiin keräimiin. Toinen järjestelmätyyppi on esitetty kuvassa 6. Se rakentuu myös alumiinipaneelista. Tähän järjestelmätyyppiin on asennettu kupariputket alumiinipaneelin pinnalle. Paneelin pinta voidaan rei'ittää, jolloin paneelista tulee ääntä absorptoiva. Kolmas järjestelmätyyppi (kuva 7) on harjaksinen alumiinikatto-paneeli, jossa kupariputki on mekaanisesti asennettu paneelin harjaksiin. Kaikkien edellä mainittujen järjestelmätyyppien hyvänä ominaisuutena on nopea reagointi tilan lämpötilan muutoksiin. [3, kappale 6.13, 6.14.]



**KUVA 5. Alumiininen kattopaneeli [3]**



**KUVA 6. Kupariputkellinen alumiininen kattopaneeli [3]**



**KUVA 7. Harjaksinen alumiinikattopaneeli [3]**

### 2.3.2 Paneelien lämpösäteilyn lämpövirta

Lämmitys- ja jäähdytyspaneelit siirtävät lämpöä lämpötilasäädetyiltä pinnoilta tilaan tai tilasta pois lämpösäteilyn ja luonnollisen konvektion avulla. Peruskaava monipintaistalle tapaukselle harmaille isoteremisille pinnoille on [3, kappale 6.4.]

$$q_r = J_p - \sum_{j=1}^n F_{pj} J_j \quad (7)$$

Jossa

$q_r$	Lämpösäteilyn aiheuttama nettolämpövirta lämmitys- tai jäähdytyspaneelin pinnalla, $W/m^2$
$J_p$	Pinnalta poistuva/saapuva kokonaissäteily, $W/m^2$
$J_j$	Säteily muilta pinnoilta/ muille pinnoille, $W/m^2$
$F_{pj}$	Säteilyn näkyvyyskerroin paneelin pinnan ja toisen huoneessa sijaitsevan pinnan välillä
$n$	Muiden pintojen kuin paneelien lukumäärä huoneessa

Kaavaa 7 voidaan käyttää yksinkertaisten sekä monimutkaisempien tapausten laskentaan. Säteilystä aiheutuva nettolämpövirta paneelien pinnoilla voidaan selvittää ratkai-

semalla tuntematon tekijä  $J_j$  jos pintojen lukumäärä on pieni. Lukumäärän ollessa suuri hankaloituu laskeminen ja tarvitaan tietokonelaskelmia. Pintojen lukumäärän ollessa suuri voidaan käyttää myös kaksipintaista arviota, MRT-tapaa, jossa lämpösäteilyn vaihtuminen sisätilassa on mallinnettu oletuksella, että pinnat säteilevät kuvitteelliseen äärelliseen pintaan, jonka emittanssi ja pintalämpötila tuottavat saman lämpövirran kuin monipintainen tapaus. Näkyvyyskertoimia ei tarvitse määrittää kaksipintaisen tapauksen arvioinnissa. MRT-kaava kirjoitetaan muotoon [3, kappale 6.4.]

$$q_r = \sigma F_r [T_p^4 - T_r^4] \quad (8)$$

jossa

$\sigma$	Stefan-Boltzmannin vakio, [ $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$ ]
$F_r$	Säteilyn vaihtuvuus
$T_p$	Paneelin käyttölämpötila jäähdytys/lämmitys, °C
$T_r$	Fiktiivisen pinnan lämpötila, °C

Käytännössä emissiivisyys ei metallisella tai maalatulla heijastamattomalla metallilla on 0,9. Kun tätä emittanssia käytetään Hottelin kaavassa 9 saadaan säteilyn vaihtuvuudelle luku 0,87 joka pätee yleisimmissä tapauksissa sisätiloissa. Kun tämä kerrotaan Stefan-Boltzmannin vakiolla, saadaan kaavan 8  $\sigma F_r = 4,93 \cdot 10^{-8}$ . Vuonna 1956 suoritetussa tutkimuksessa tämän vakion arvoksi saatiin  $5.03 \cdot 10^{-8}$ . [3, kappale 6.4.]

$$F_r = \frac{1}{\frac{1}{F_{p-r}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_p} - 1\right) + \frac{A_p}{A_r} \left(\frac{1}{\varepsilon_r} - 1\right)} \quad (9)$$

Fiktiivisen pinnan lämpötila on annettu kaikkien pintojen pinta-ala emittanssi painotetulla keskiarvolla. Paneelien pinta-alaa ei oteta huomioon.

$$T_r = \frac{\sum_{j=p}^n A_j \varepsilon_j T_j}{\sum_{j=p}^n A_j \varepsilon_j} \quad (10)$$

jossa

$T_r = \text{AUST}$	Fiktiivisen pinnan lämpötila, °C
$A_j$	Muiden kuin paneelipintojen pinta-ala, $\text{m}^2$

$\varepsilon_j$	Muiden kuin paneelipintojen emittanssi
$T_j$	Muiden kuin paneelipintojen lämpötila

Kun tapauksen pintojen emissiivisyydet ovat lähes samoja ja paneeleille altistettut pinnat ovat lämmittämättömiä tai jäähdyttämättömiä kaavasta 10 saadaan paneeleille altistettu pinta-alapainoitettu lämmittämätön/jäähdyttämätön lämpötila ( $T_r=AUST$ ). Joten jos pinta on samalla tasolla kuin paneeli, sitä ei lasketa mukaan AUST-lukuun lukuun ottamatta tapausta, jolloin pinta on kuitenkin toisen paneelin vaikutuksen alainen. Kuvassa 8 on esitetty jäähdytetyn katon tai seinän lämpövirta, kun tiedetään AUST-luku sekä paneelin pintalämpötila. AUST-lukua laskettaessa sisäilmaan rajoittuvien seinien lämpötilaksi voidaan olettaa sama lämpötila kuin sisäilman kuivalämpötila. Ulos rajoittuvien seinien lattian tai katon pintalämpötila voidaan laskea kaavasta 11. [3, kappale 6.4.]

$$t_u = t_a - \frac{U}{h}(t_a - t_o) \quad (11)$$

jossa

$t_u$	Ulkoilmaan rajoittuvan seinän sisäpinnan lämpötila, °C
$t_a$	Sisäilman kuivalämpötila, °C
$t_o$	Ulkoilman kuivalämpötila, °C
$U$	Yhteenlaskettu lämmönsiirtokerroin, (W/m <sup>2</sup> K)

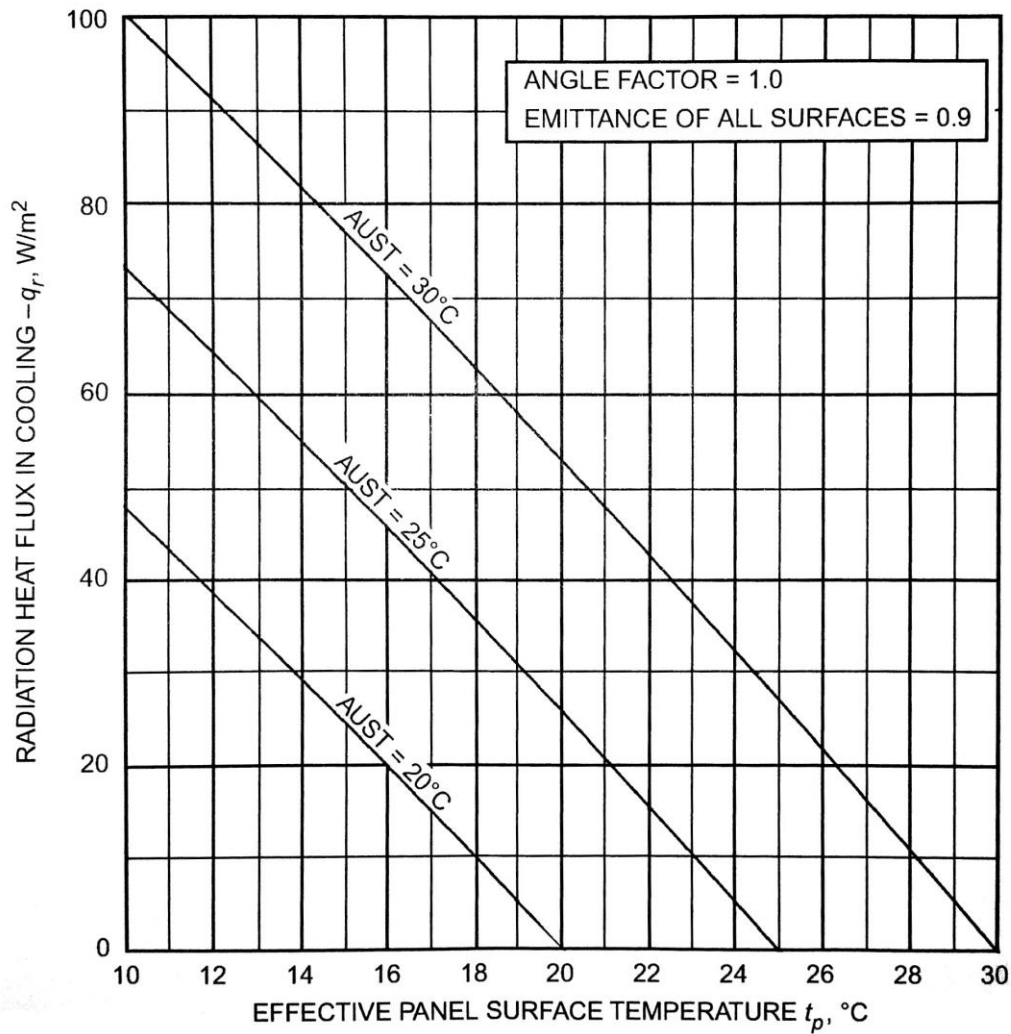
Yleisimmissä tapauksissa MRT-kaava 8 voidaan kirjoittaa muotoon

$$q_r = 5 \cdot 10^{-8} [(t_p + 273.15)^4 - (AUST + 273.15)^4] \quad (12)$$

jossa

$t_p$	Paneelin lämpötila, °C
AUST	Pinta-alapainotettu lämpötila kaikille huoneen pinnoille, lukuun ottamatta paneelipintoja, °C





**KUVA 8. Säteilyn aiheuttama lämpövirta jäähdytetyssä katossa tai seinässä [3]**

### 2.3.3 Konvektion aiheuttama lämpövirta

Konvektion aiheuttamalla lämmönsiirtymisellä tarkoitetaan energian siirtymistä pinnan ja ilman tai nesteen välillä. Se voi olla joko luonnollista vapaata konvektiota tai pakotettua konvektiota. Pakotettu konvektio aiheutuu paine-erosta. Vapaa konvektio taas aiheutuu erilämpöisten ilmavyöhykkeiden tiheyserosta, esimerkkinä viileä ilma virtaa alas kylmällä ikkunapinnalla tai lämmin ilma virtaa ylöspäin ihon pinnalla.[1, s. 9]

Tarkasteltavan tilan pinnat siirtävät energiaa pintojen ja ilman välillä. Yleisimmissä tiloissa pienillä ilmannopeuksilla lämmönsiirto pinnoista ilmaan tapahtuu vapaan konvektion avulla. Lämmönsiirtokerroin voidaan laskea vapaan konvektion kaavasta. [8, s.208-209.]

$$Nu = c(Gr * Pr)^n \quad (13)$$

jossa

Nu	Nusseltin luku,
Gr	Grashofin luku
Pr	Prandtlin luku
c ja n	Ovat vakioita

Koska ilman ominaisuudet ovat suhteellisen vakioita yleisimmissä huonelämpötiloissa kaava 13 voidaan yksinkertaistaa muotoon [8].

$$h_c = c_1(\Delta t)^m L^s \quad (14)$$

jossa

$\Delta t$	Ilman lämpötilaero pinnan ja ilman lämpötilan välillä
L	Hydraulinen halkaisija jäähdytetylle tai lämmitetylle pinnalle
$c_1, m, s$	Vakioita

Edellä mainitut vakiot on määritelty kokeellisesti ASHRAE:n toimesta vuonna 1956. Lämmönsiirtokerroin vertikaalisille pinnoille voidaan laskea käyttämällä näitä määriteltyjä vakioita, jolloin kaava 14 kirjoitetaan muotoon. [8, s.208-209.]

$$h_c = 1.61(\Delta t)^{0,32} * L^{-0.05} \quad (15)$$

jossa

L	Vertikaalisen pinnan korkeus
---	------------------------------

Vaakasuurille pinnoille: Lämmin katto tai kylmä lattia kaava 16 [8].

$$h_c = 0,173(\Delta t)^{0.25} * L^{-0.24} \quad (16)$$

Kylmä katto tai lämmin lattia kaava 17 [8].

$$h_c = 2.08(\Delta t)^{0,31} * L^{-0.08} \quad (17)$$

joissa

L                      Hydraulinen halkaisija jäähdytetylle tai lämmitetylle pinnalle

Vapaan konvektion aiheuttama lämpövirta paneelijärjestelmässä on riippuvainen paneelin lämpötilasta sekä paneelin kanssa kosketuksissa olevan ilman lämpötilasta. ASHRAE:n vuonna 1956 tekemässä tutkimuksessa selvitettiin vapaan konvektion vakioita 1,5 m korkeudella 3,66 m x 7.74 m pinta-alaltaan olevassa huoneessa. Kaavalla (18) saadaan laskettua vapaan konvektion aiheuttama lämpövirta jäähdytys-paneelin ja sisäilman välillä [3, kappale 6.4.]

Vapaan konvektion lämpövirta lämmitetyn tai jäähdytetyn seinällä sijaitsevan paneelin ja sisäilman välillä. [3]

$$q_c = 1.87 \frac{(t_p - t_a)^{0,32} (t_p - t_a)}{H^{0,05}} \quad (18)$$

Jossa

$q_c$	Vapaan konvektion aiheuttama lämpövirta, W/m <sup>2</sup>
$t_p$	Paneelin pintalämpötila, °C
$t_a$	Sisäilman lämpötila, °C
$H$	Paneelin korkeus, m

#### 2.3.4 Rakenteisiin upotettu pintajäähdytys

Rakenteisiin upotettu kattojäähdytys tehdään lähes samalla tavalla kuin lattialämmitys. Muoviputket upotetaan katon valamisen yhteydessä valuun ja putkien päälle laitetaan eriste, jotta jäähdytysteho siirtyy mahdollisimman hyvin alaspäin. Tällainen järjestelmä on hinnaltaan edullinen, mutta koska järjestelmän inertia on korkea, on kondenssin riski olemassa äkillisissä suhteellisen kosteuden muutoksissa. [7, s. 1863.]

### 3 LAITETILA

Laitetila tai konesali on tila, jossa sijaitsee korkeatehoisia tietokoneita, tallennusjärjestelmiä, palvelimia, tietoliikennelaitteita tai muita IT-laitteita. Laitetilan laitteisto tarjoaa tallennus-, prosessointi- ja tietoliikennepalveluja. Sähköenergiankulutus tyypillisillä serverikaapilla on noin 30kW, seuraavan vuosikymmenen aikana energiankulutus tulee olemaan lähellä 70kW yhtä serverikaappia kohden. Suurissa laitetiloissa voi olla jopa satoja serverikaappeja, joten energian kulutuksen osuus rakennuksen energiakuiluista on suuri. [9.]

Yritykset ulkoistavat palvelimiaan ja palvelut siirtyvät pilveen. Verkossa liikkuu entistä enemmän digitaalista sisältöä, suuri osa sisällöstä täytyy tallentaa. IT-sektorille kehitys tarkoittaa huomattavaa kasvua, mutta kasvu tarkoittaa myös kasvavaa energian kulutusta konesaleissa. Tuskin millään muulla teollisuuden alalla kasvu on yhtä voimakasta, Suomessa kaksinkertaistui konesalien sähkönkulutus vuosina 2005-2010. Konesalit kuluttavatkin arviolta 0,5-1,5 prosenttia Suomessa käytetystä sähköstä. Noin kaksi prosenttia maailman hiilidioksidipäästöistä tulevat IT-alalta. Tämä osuus on lentoliikenteen kanssa samaa luokkaa. Vuosina 2010-2020 on arvioitu konesalien päästöjen jopa nelinkertaistuvan. Samanaikaisesti sähkön hinta nousee. Jo nyt yksittäisen palvelimen elinkaaren energialasku on palvelimen ostohinnan luokkaa. [10, s. 4.]

Palvelinten toiminta on oltava luotettavaa ja varmatoimista ympäri vuorokauden, tämä vaatii olosuhteiden pysymistä vakaana, hyviä suojausjärjestelmiä sekä jatkuvaa valvontaa. Suojausjärjestelmät tuovat lisää energiankulutusta konesaleihin. [10, s. 5.]

#### 3.1 Lämpökuormat

Laitetilojen tyypillisimpiä laitteita ovat prosessoivat serverit, tietoliikennekytkimet sekä tallennuslaitteet. Tietokonelaitteiden koko pienenee ja teho kasvaa, joten yhden serverikaapin teho voi olla jopa 30 kW. Tästä suuresta tehosta aiheutuu suuret lämpökuormat laitetilaan, joten laitetiloja täytyy jäähdyttää, jotta laitetilan lämpötila pysyy hyväksyttävällä tasolla. [11.]

Vaativien laitetilojen jäähdytys toteutetaan aina koneellisesti. Jäähdytys voidaan toteuttaa kierrättämällä viileää ilmaa kaappien läpi, jolloin ilmanjakotapa vaikuttaa käsiteltäviin ilmavirtoihin. Jos tarkoitettu ilmankierto, estyy voi jopa puolet jäähdytysjärjestelmän tehosta mennä hukkaan. Yleistymässä ovat suoraan vedellä jäähdytettävät laitekaapit ja komponentit. Näitä käytettäessä jäähdytys kohdistetaan suoraan komponentteihin, jotka tarvitsevat jäähdytystä, jolloin tilan lämpötilaa voidaan pitää hieman korkeammalla. [12.]

### 3.2 Sisäilmasto

Energiatehokkuuden kannalta tärkein seikka laitetilojen suunnittelussa on laitetilan sisälämpötila. Yleisin virhe on pitää lämpötila turhan viileänä, kuten esimerkiksi 21-24°C. Viileän sisäilman oletetaan pidentävän laitteiden käyttöikää, mutta todellisuudessa tietoteknisten laitteiden elinkaari on niin lyhyt, ettei lämpötila vaikuta siihen. ASHRAE:n suositusten mukaan laitetilan suurin suositeltu lämpötila on 27 celsiusastetta. [12.]

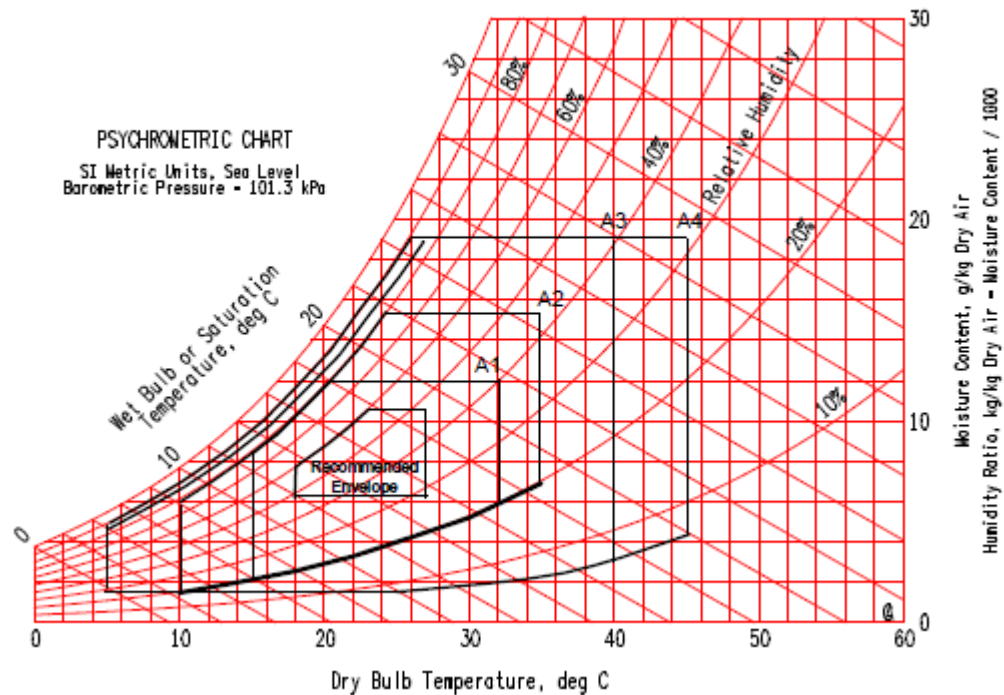
Laitetilojen laitteistolle on määritelty kuusi sisäilmastoryhmää.

- Luokassa A1 konesalin sisäilmastoa mitataan tarkasti. Luokan A1 konesalissa mitataan ja säädetään kastepistettä, lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta. A1 luokan laitteet ovat enterprise-luokan servereitä ja tallennuslaitteita.
- Luokan A2 laitetilan sisäilmastoa mitataan ja säädetään myös kastepistettä, lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta. Laitteistona A2, A3 ja A4 laitetilassa pienet serverit, tallennusyksiköt sekä yleisluontoiset tietokoneet.
- Luokka B on tyypillisesti toimisto tai asuintila, jossa vain lämpötila on säädetty. Laitteina ovat yleisluontoiset tietokoneet, kannettavat tietokoneet ja tulostimet.
- Luokka C on laitteille jotka sijaitsevat tiloissa jonka sisäilmastoa ei säädetä ollenkaan tai säädetään hyvin vähän. [13, s. 7.]

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
<b>Recommended</b> (Applies to all A classes; individual data centers can choose to expand this range based upon the analysis described in this document)								
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP						
<b>Allowable</b>								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

**KUVA 9. Suositellut sisäilmaston arvot laitetiloille [13]**

- Jos tila on yli 900 m korkeudella merenpinnasta mitattuna, vähennetään sallituista maksimilämpötiloista 1 °C/300 m
- Jos tila on yli 1800 m korkeudella, vähennetään suositelluista maksimilämpötiloista 1°C/300 m
- Nauhatallentimet vaativat tasaisemmat sisäilmasto-olosuhteet, lämpötilan muutosnopeus ei saa olla yli 5 °C/h. Kosteuden muutosnopeus ei saa ylittää 5%RH/h.
- Levytallentimilla lämpötilan muutosnopeus ei saa ylittää 20 °C/h. [13, s. 8.]



**KUVA 10. Diagrammi ASHRAE:n suosittelemista ja sallituista rajoista [13]**

#### 4 LAITETILOJEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT

Konesali ei yleensä tarvitse lämmitysjärjestelmää, sillä palvelinlaitteet tuottavat paljon lämpöä. Jäähdytystä konesali tarvitsee ympäri vuoden. Kun jäähdytys on jatkuvaa, kannattaa sen optimointiin kiinnittää huomiota. Yleisimpänä jäähdytystapana käytetään ilmajäähdytystä. [10, s. 6.]

Ilmasto Suomessa tekee mahdolliseksi vapaajäähdytyksen hyödyntämisen, jolloin hyödynnetään maaperän, ilman tai veden kylmyyttä. Ilmaan perustuva vapaajäähdyttäminen kytkeytyy päälle, kun tietty raja alitetaan ulkolämpötilassa. Ulkolämpötilaraja on aina järjestelmäkohtainen. Vapaajäähdytystä voitaisiin hyödyntää paremminkin, sillä Suomessa yleensä ulkolämpötilaraja, jossa vapaajäähdytys kytkeytyy päälle, on liian alhainen. Lämpötilaraja tulisi nostaa niin korkealle kuin se on jäähdytysveden ja ilman lämpötilan kannalta mahdollista. Kun käytetään lämpimämpää jäähdytysvettä, voidaan vapaajäähdytystä hyödyntää pidempi ajanjakso. [12.]

Energiatohokkuutta laitetiloissa ilmaistaan PUE-tehokertoimella (Power Usage Effectiveness). PUE-arvolla ilmaistaan tilan kokonaisenergian kulutus palvelinlaitteiston kulutuksen suhteen. Kun PUE-arvo on pieni, tarkoittaa se energiatohokkaampaa talo-

tekniikkaa. Perinteisissä laitetoiloissa PUE-arvo on kolmen luokkaa, mutta kun käytetään nykyaikaista jäähdytysjärjestelmää, arvo voi olla jo lähellä kerrointa yksi. PUE-arvo voidaan laskea kaavalla 18. [12.]

$$PUE = \frac{P_{tot}}{P_{it}} \quad (19)$$

jossa

$P_{tot}$	Kokonaisteho, W
$P_{it}$	Palvelimien teho, W

PUE-arvosta on myös olemassa kehittyneempi versio NPUE-arvo. NPUE-arvo ottaa huomioon myös energian, joka viedään konesalista ulos. Tämä tarkoittaa yleensä konesalin hukkalämmön hyödyntämistä. Laskentakaava 19 on tarkoitettu laitetoiloihin joissa ei ole käytössä kaukojäähdytystä. [10, s. 19.]

$$NPUE = \frac{E_{net}}{E_{it}} = \frac{(E_{in} - E_{out})}{E_{it}} \quad (20)$$

jossa

$E_{in}$	Saliin syötetty energia, kWh
$E_{out}$	Salista ulos viety energia, kWh
$E_{it}$	Palvelimien sähkönkulutus, kWh

Kun laitetilassa on kaukojäähdytys käytetään kaavaa 20. [10, s. 19.]

$$NPUE = \frac{E_{it}}{(E_{in} - E_{out})} \quad (21)$$

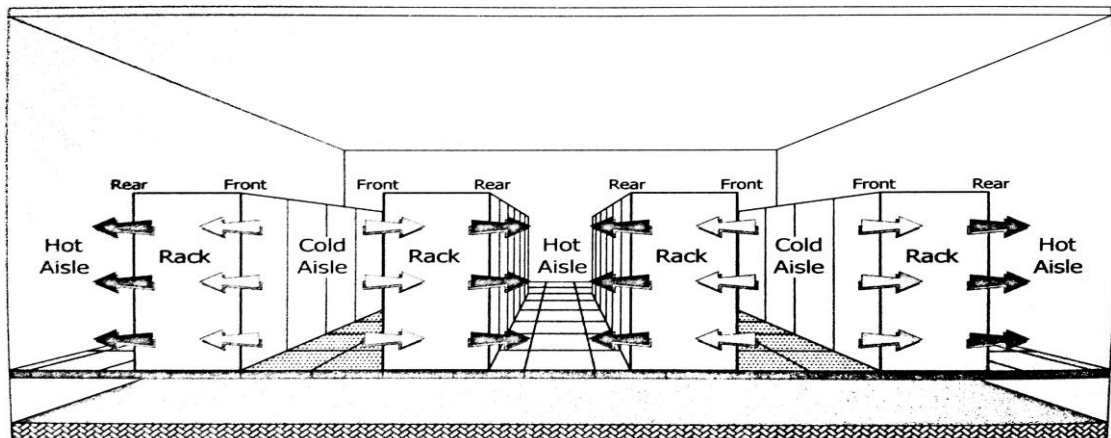
#### 4.1 Ilmajäähdytys

Laitetilojen jäähdytykseen käytetään ilmajäähdytystä yleisemmin kuin nestejäähdytystä laitetoilojen jäähdytykseen. Viilennetty ilma tuodaan ilmanottoaukkojen läheisyyteen asennuslattian kautta alhaalta tai jaetaan kaapin yläpuolelta tai käytetään paikallista ilmanjakoa. Jokaisella menetelmällä on omat hyvät puolensa, ja jääkin yleensä käyttäjän päätettäväksi, mitä tapaa käytetään. [14, s. 30.]

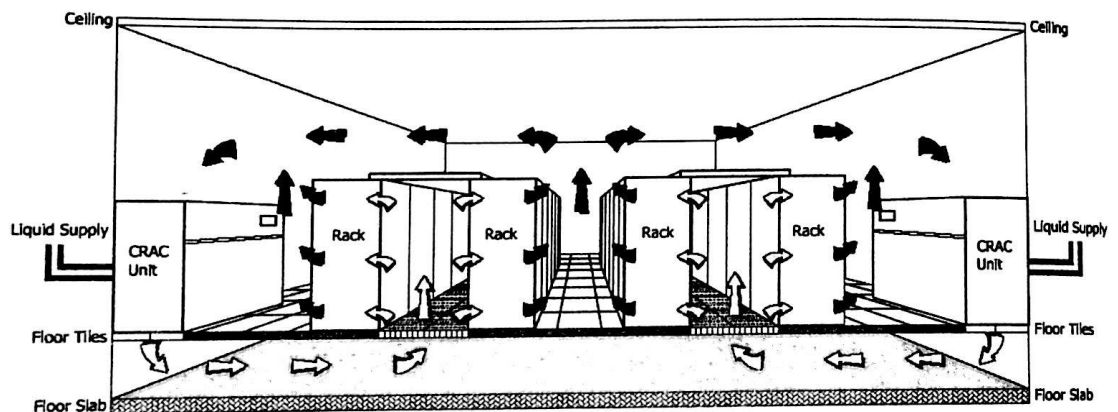


#### 4.1.1 Kuuma/kylmäkäytävä

Lämmönlähteet konesaleissa pyritään sijoittamaan tiiviisti, jotta viilennettävä alue olisi mahdollisimman pieni kokonaisjäähdytystehoon nähden. On myös pyrittävä siihen, että jäähdytys voidaan kohdentaa vain viilennettäviin kohteisiin. Palvelimet sijoitetaan yleisesti kuuma/kylmäkäytäviin. Järjestelyn periaatteen näkee kuvasta 14. Kuuma/kylmäkäytävä järjestelyssä elektroniikka sijoitetaan kaappeihin niin, että ope-  
rintihenkilöt pääsevät operoimaan palvelimia kylmäkäytävissä. Jäähdytysilma ohjataan usein alhaalta palvelimien eteen. Palvelinlaitteiden takapuolelle jää palvelinlaitteiden tuottama kuuma ilma. Järjestelyn tarkoitus on estää kuuman ja jäähdytetyn ilman sekoittuminen. Usein sekoittuminen estetään asettamalla kuumaa ilmaa imevät järjestelmät lähelle palvelinkaappien yläreunaa. Kuuman ilman vuoto kylmäkäytävään voidaan myös estää tukkimalla fyysisesti kuuman ilman vuoto kylmäkäytäviin, kuten kuvassa 15. [15, s. 8.]



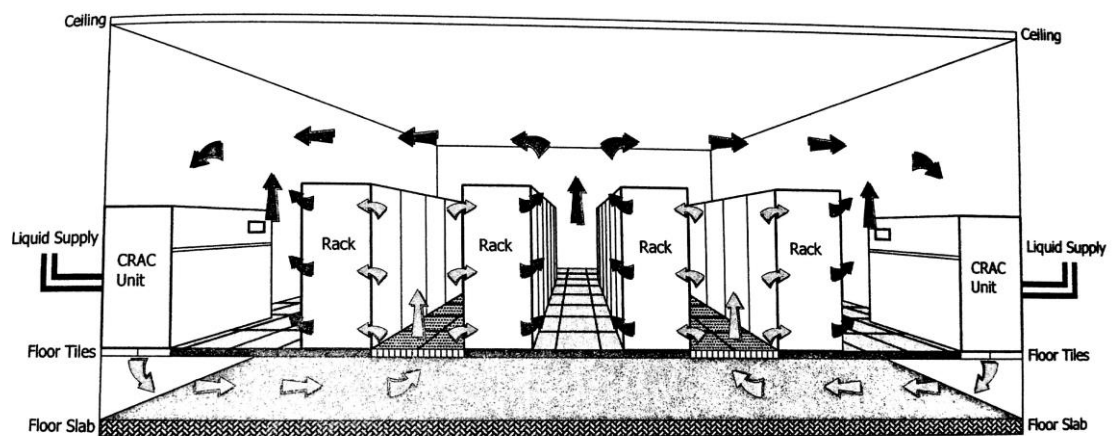
KUVA 14. Kuuma/kylmäkäytävä [14, s. 30]



**KUVA 15. Ilmavirtojen sekoittuminen estetty koteloimalla kylmäkäytävä [14, s. 34]**

#### 4.1.2 Lattiapuhallus

Lattiapuhallus on järjestetty yleensä viilentämällä serverikaapeissa lämmennyt ilma CRAC-yksikön kautta (Computer room air-conditioning unit). Periaate on esitetty kuvassa 16. Ilman viilennettyä ilma siirretään asennuslattiaan, josta se virtaa palvelinkaapeille rei'itetyn asennuslattian läpi. Lattiapuhallus antaa laitetilän laitteiden järjestämiseen joustoa. Teoriassa jos ilman liikkuvuus on järjestetty hyvin, voidaan viilennetty ilma kuljettaa, minne halutaan, yksinkertaisesti vain vaihtamalla umpinaisen lattialaatan rei'itettyyn. Rei'itetty osuus lattiasta sijaitsee kylmäkäytävien kohdalla. Viilennetty ilma virtaa kylmäkäytävältä palvelinkaappien läpi kuumakäytävälle. Lämmennyt ilma palautuu CRAC-yksikölle. [14, s. 31.]



**KUVA 16. Lattiapuhallus [14, s. 31]**

#### 4.1.3 Paikallinen ilmanjako

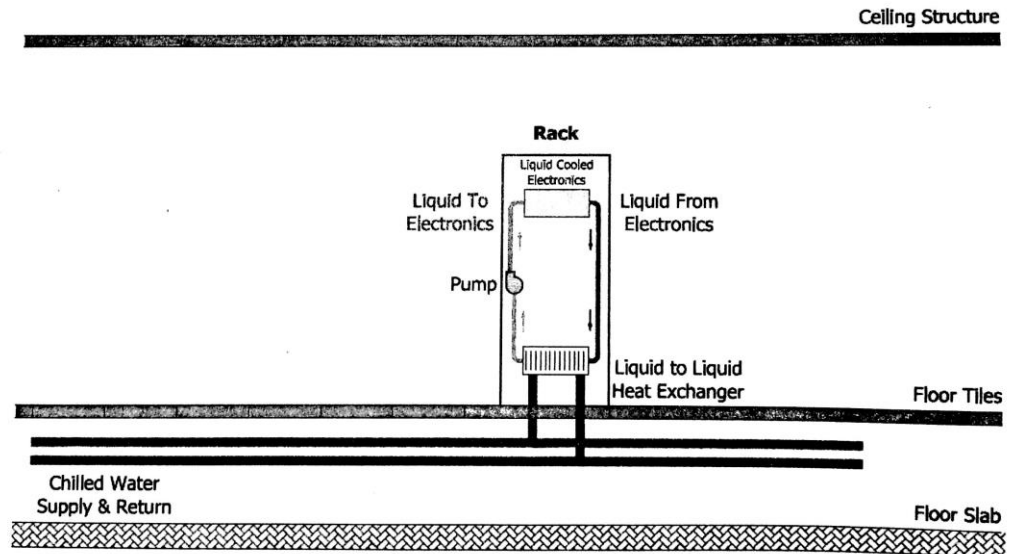
Paikallisen ilmanjaon järjestelmässä tarkoitus on tuoda jäähdytetty ilma niin lähelle kylmää käytävää kuin on mahdollista. Jäähdytetyn ilman lähde on laiteräkkien päällä, vierellä tai asennettu kiinni laiteräkkiin. Ongelmia ilmanjaon ja sekoittumisen kanssa ei pääse syntymään, johtuen jäähdytysyksikön läheisyydestä. Kun jäähdytyslaitteet ovat lähellä elektroniikkaa, tarkoittaa se myös nesteputkien tuomista tämän elektronikan läheisyyteen. Tämä voi huolestuttaa osaa käyttäjäistä.

#### 4.1.4 Nestejäähdytys

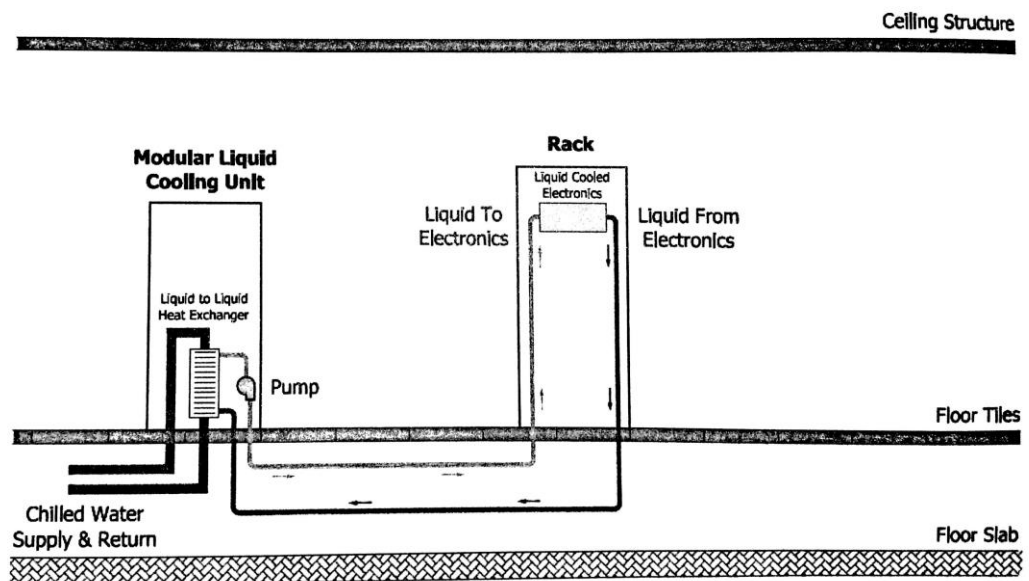
Nestejäähdytyksellä voidaan kasvattaa jäähdytystehoa. Nestejäähdytyksen periaatteena on siirtää hukkalämpö jäähdytysnesteeseen lämmönlähteen lähellä. Yhtenä nestejäähdytys ratkaisuna on vesijäähdytteiset laiteräkit, nämä perustuvat laitevalmistajien ratkaisuun, jossa nestejäähdytys on liitetty suoraan laiteräkkiin. Jäähdytysnesteeseen lämmönjohtokyky on jopa 3500-kertainen ilmaan verrattuna, joten nestejäähdytystä voidaan hyödyntää suuriin ja lämpökapasiteetiltaan tiheämpiin kohteisiin kuin ilmajäähdytystä käyttäen. Suunniteltaessa ja toteutettaessa nestejäähdytystä tulee erityistä huomiota kiinnittää siihen, että mahdollisten vuotojen syntyessä on ne pystyttävä havaitsemaan ja hallitsemaan. [15, s. 11.]

Jäähdytystehontarpeen kasvaessa osa laittilan laitteistosta voi tarvita nestejäähdytystä, jotta päästäisiin tavoitearvoihin lämpötiloissa. Väliaineena nestejäähdytyksessä käytetään vettä tai jäähdytysaineita. Jäähdytystehon siirtämisen palvelinkaapin sisällä on kaksi ratkaisua. Ensimmäinen ratkaisu on esitetty kuvassa 17. Tässä ratkaisussa asennuslattian alapuolella kulkee jäähdytyksen meno- ja paluuputket, joista on otettu haara palvelinkaapin sisällä olevaan lämmönsiirtimeen. Lämmönsiirtimeltä tarvittavaan paikkaan siirretty jäähdytetty neste jäähdyttää palvelinkaapin sisällä elektroniikkaa.

Toinen ratkaisu on esitetty kuvassa 18. Ratkaisu on hyvin samanlainen kuin ensimmäinenkin, erona kuitenkin on jäähdytyksen lämmönsiirtimeen sijainti. Tässä ratkaisussa lämmönsiirrin on sijoitettu palvelinkaapin ulkopuolelle. [14, s. 43-44.]



KUVA 17. Sisäinen nestejäähdytys, jossa lämmönsiirrin palvelinkaapin sisällä [14, s. 44]



KUVA 18. Sisäinen nestejäähdytys, jossa lämmönsiirrin palvelinkaapin ulkopuolella [14, s. 44]

## 5 KOHDE

Työn mittaukset suoritettiin Medikro Oy:n toimitiloissa. Toimitilojen lämmönlähteenä on maalämpöpumppu. Lämpö siirretään huonetiloihin kattoon asennettujen säteilypaneelien kautta. Säteilypaneeleilla hoidetaan myös tilojen jäähdytys. Jäähdytys on

toteutettu vapaajäähdytystä hyödyntäen. Maapiirin putkista on ennen maalämpöpumpua otettu haara jäähdytyksen lämmönsiirtimille.

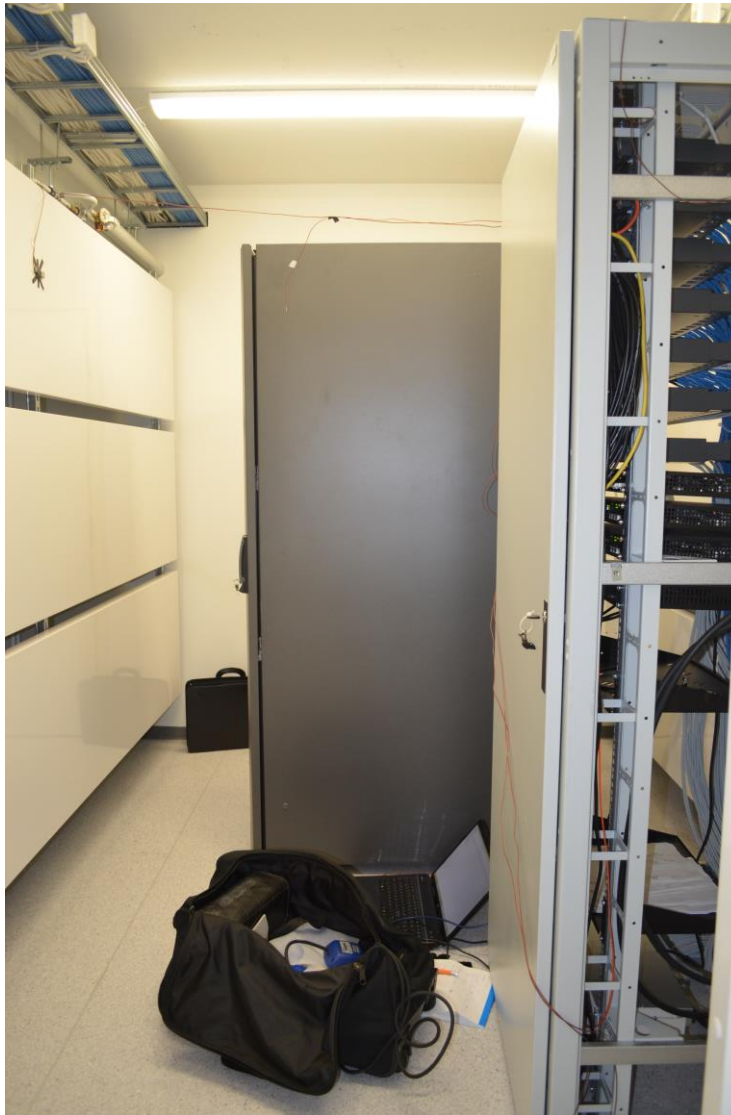
Mittauspaikkana Medikro Oy:n toimitiloissa on laitetilä, jonka jäähdytys on toteutettu säteilyjäähdytyspaneeleilla. Laitetilan jäähdytykseen rakennettiin oma haara maapiiristä. Ennen lämmönsiirintä lämmönsiirtonesteinä käytetään vesi/etanoliseosta. Lämmönsiirtimen jälkeen lämmönsiirtonesteinä on vesi. Kuvassa 19 on esitetty teknis tilan laitteistoa. Laitetilalle rakennettu haara sekä lämmönsiirrin, pumppuryhmä ja varolaitteet erottuvat sillä, että niiden putkia ei ole vielä eristetty.



**KUVA 19. Kohteen tekninen tila, laitetilän jäähdytyksen putket eristämättä**

Laitetilassa paneelit on asennettu vastakkaisille seinille. Kolme paneelia on asennettu päällekkäin tarvittavine venttiileineen. Yhteensä paneeleja tilassa on kuusi kappaletta. Yksi paneeli on 600 mm korkea ja 3000 mm pitkä.

Laitetilan lämpötilaa ja kosteutta mitataan huoneantureilla. Alakeskus ohjaa ensiöpiirin pumpun vakionopeudelle, kun laitetilassa on jäähdytystarvetta. Menoveden lämpötilaa pidetään 2°C kastepisteen yläpuolella. Laitetilassa serverikaappi on keskellä huonetta tilassa on myös kytkinkaappi. Kuvassa 20 on esitetty laitetila. Kuvassa näkyy keskellä serverikaappi. Serverikaapin edessä on jäähdytyspaneelit. Etummaisina kaappi on ristikytkenäkaappi.



**KUVA 20. Laitetila**

### **5.1 Laitetilan laitteisto**

Serverikaappi on kooltaan 42 U. Kaappiin mahtuu siis 42 yhden unitin kokoista laitetta. Serverikaapissa on 10 laitetta. Serverikaapin laitteisto koostuu kytkimestä, palvelimista, levypalvelimesta, backup serveristä sekä UPS laitteesta. Laitteiden arvioitu teho normaalikäytössä on noin 1,2 kW. Liitteessä 1 on esitetty serverikaapin laitteet

sekä niiden sijainti kaapissa. Laitetilassa on myös ristikytKentäkaappi. Tässä kaapissa on neljä kytkintä. KytKinkaapin arvioitu yhteenlaskettu teho on noin 0,3 kW.

## 6 MITTAUSMENETELMÄ

Mittaukset suoritettiin Medikro Oy:n toimitiloissa. Medikron toimitilassa sijaitseva varastotila muutettiin laitetilaksi, laitetilaan asennettiin säteilyjäähdytyspaneeliin pohjautuva jäähdytys.

Opinnäytetyön mittaukset aloitettiin remontin valmistumisen jälkeen. Mittauslaitteistona tutkimuksessa käytettiin kahta dataloggeria, lämpökameraa, laitehuoneen laitteiston sähkönkulutusta mittaavia sähköenergiamittareita, ilmamäärämittaria, jolla mitattiin tilan ilmanvaihdon ilmamäärät, sekä tietokoneeseen liitettyä termoparidataloggeria kahdeksalla termoparilla. Mittaukset aloitettiin 18.3.2015 klo 12:00 käynnistämällä dataloggereiden sekä termopariloggerin mittaustoiminnon. Tämän jälkeen aloitettiin lämpökamerakuvaus.

Mittaukset suoritettiin kolmessa vaiheessa. Ensin mittaukset tehtiin serverijärjestelmän normaalilla kuormalla. Tämän jälkeen 19.3.2015 klo 20.00 tilaan laitettiin 1 kilowatin tehoinen lämmityspuhallin. Lämmityspuhaltimen lisäämisellä simuloitiin tilannetta, jossa tilan jäähdytyskuorma lisääntyisi yhdellä kilowatilla. 20.3.2015 klo 01.20 lämmityspuhallin kytkettiin pois päältä. Tämän jälkeen jäähdytys otettiin pois käytöstä. Jäähdytys otettiin pois käytöstä, jotta nähdään, kuinka korkeaksi lämpötila nousee laitetilassa, jos jäähdytysjärjestelmää ei ole mahdollista olla käynnissä esim. vikaantumistilanne. Suoritettujen mittauksien tarkoituksena oli tutkia huoneen lämpöoloja, serverikaapin lämpö-oloja sekä säteilyjäähdytyspaneelien lämpötilaa.

### 6.1 Dataloggerimittaus

Mittauslaitteena käytettiin Insinööri-toimisto J. Markkaselta käyttöön saatuja CEM DT-172 dataloggereita. Dataloggerit mittasivat huoneen lämpötilaa ja kosteutta. Loggerit asetettiin mittaamaan tietoa 30 minuutin välein. Dataloggerit asennettiin 2,4 metrin korkeudelle.

## 6.2 Termoparimittaus

Termoparimittauksen mittauslaitteena käytössä oli koululta lainattu PICO-USB data-loggeri kahdeksalla termoparilla. Ensimmäisenä mittauspisteenä tutkimuksessa oli säteilyjäähdytyspaneelin pintalämpötila. Mittauspiste asennettiin serverikaapin etupuolella ylimpänä olevan paneelin pinnalle. Anturi kiinnitettiin paneelia vasten ja päälle asennettiin solukumieriste. Kuvassa 22 näkyy mittauspiste paneelissa. Toinen mittauspiste sijaitsi laitetilan seinällä ristikytkentäkaapin vieressä kuva 21.



**KUVA 21. Kytkinkaappi ja seinän lämpötilan mittauspiste**

Kolmas mittauspiste oli laitetilan säteilyjäähdytyspaneelien runkolinjan menovenputken pintalämpötila. Neljäs mittauspiste oli säteilyjäähdytyspaneelien runkolinjan paluuputken pintalämpötila. Molemmat lämpötilan mittauskohdat eristettiin

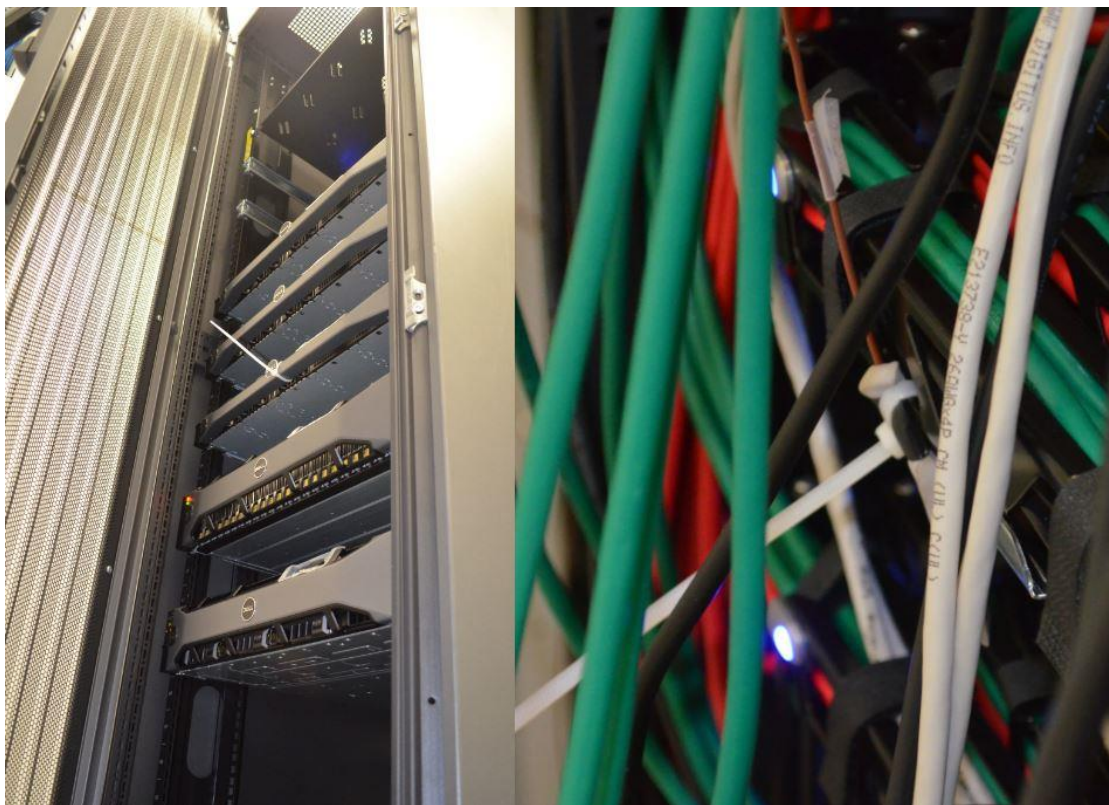


solukumilla, jotta saadaan mahdollisimman tarkasti mitattua meno- ja paluupuolen veden lämpötilat. Mittauspisteet on esitetty kuvassa 22.



**KUVA 22. Mittauspisteet: Paneelin pintalämpötila meno- ja paluuvien lämpötila**

Viides mitattu lämpötila mitattiin serverikaapin edestä. Tämän mittarin on tarkoitus mitata serverikaapissa sijaitseville laitteille tulevan ilman lämpötilaa. Kuudes mittauspiste asennettiin serverikaapin taakse mittaamaan komponenteilta tulevan lämmenneen ilman lämpötilaa. Kuvassa 23 on esitetty mittauspisteet viisi ja kuusi.



**KUVA 23.** Vasemmalla mittaus kaapin edestä. Oikealla mittaus kaapin takapuolelta.

Seitsemäntenä mitattu lämpötila oli huonelämpötila. Mittauspiste oli keskellä laitetilaa serverikaapin vieressä kahden metrin korkeudella lattiasta. Mittauspisteen sijainti näkyy kuvassa 20. Kahdeksantena mitattu lämpötila oli tuloilman lämpötila. Mittauspiste asennettiin tuloilmalaitteen sisälle. Tuloilman päätelaitteena oli Fläktwoods KTS-125 venttiili.

### **6.3 Lämpökamerakuvaus Fluke Ti20**

Lämpökamerakuvausssä käytettiin kuvauslaitteena oppilaitoksen lvi-laboratoriosta lainattua Fluke Ti20 lämpökameraa. Lämpökameralla kuvattiin serverilaitteiston ilman ulospuhalluspuolta. Tutkimuksessa kuvattiin myös säteilyjäähdytyspaneeleita jäähdytysjärjestelmän ollessa käynnissä. Emissioarvona käytin emissiolukua 0,90.

### **6.4 Laitetilan ilmanvaihdon mittaaminen**

Laitetilan ilmanvaihto mitattiin Tecknocalorin TC 9565 monitoimimittalaitteella. Tuloilman päätelaite oli Fläktwoods KTS-125 tuloilmaventtiili. Tuloilmaventtiilin au-

keama oli 4 mm, joten mittauksessa käytettiin valmistajan säätöohjeen mukaista k-arvoa 2,2. Poistoilmaventtiili oli Fläktwoods KSO-125 venttiili. Venttiilin aukeama oli 0 mm, joten valmistajan säätöohjeen mukaan käytettiin k-arvoa 2,7. Mittaukset suoritettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti.

## **7 TULOKSET**

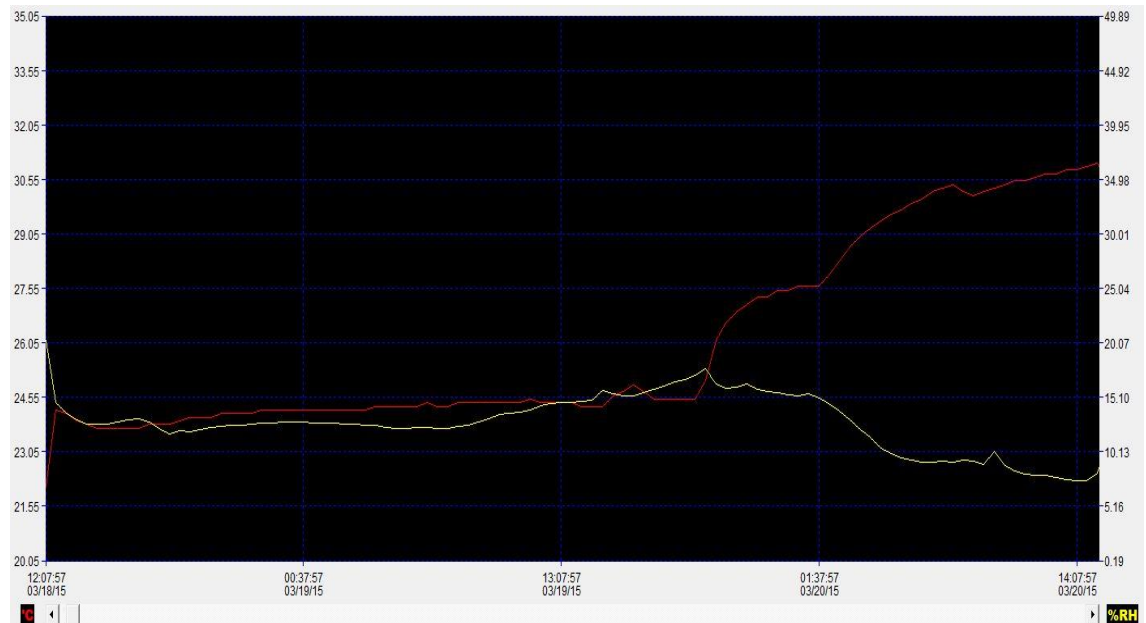
### **7.1 Ilmanvaihdon jäähdytysteho**

Mitattu tuloilmavirta Fläktwoods KTS-125 päätelaitteelta oli 15 l/s. Tuloilman lämpötila mitattiin termoparidataloggerilla. Tallennusväli mittauksille oli 30 minuuttia. Tuloksista voidaan huomata, että lämpötila vaihteli hieman mittausten aikana. Suurimman osan ajasta lämpötila pysytteli 20°C yläpuolella. Keskiarvo tuloilman lämpötilalle oli 21,43°C. Tuloilman jäähdytysteho on pieni eikä sillä ole suurta vaikutusta järjestelmän toiminnan kannalta normaalissa 24°C lämpötilassa. Normaalin toiminnan aikana tuloilman jäähdytysteho vaihteli noin 35 W – 95 W.

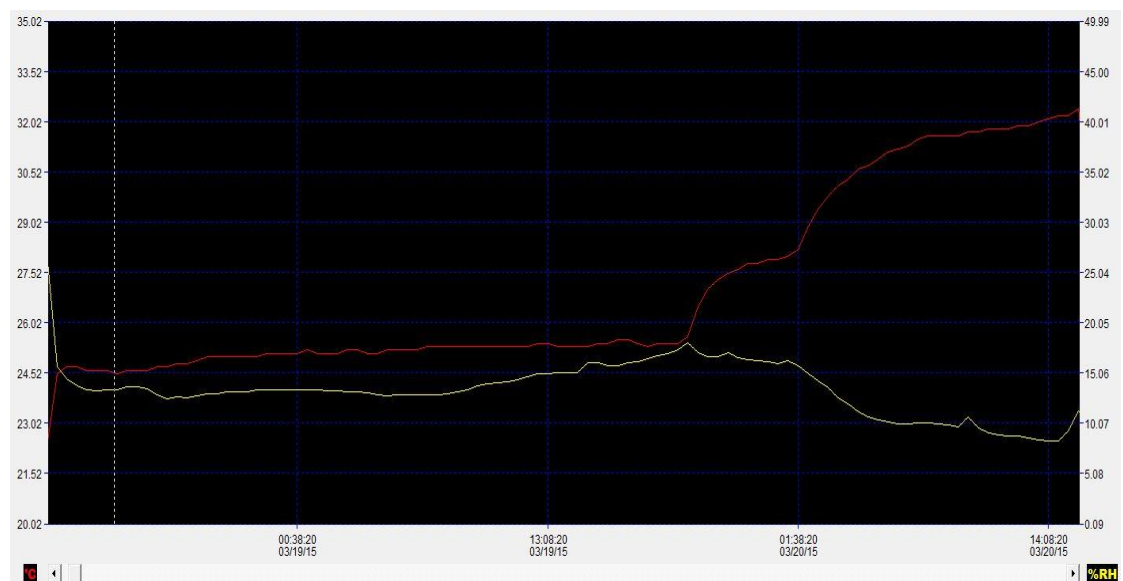
### **7.2 Dataloggerimittaukset**

Dataloggerilla mitattiin tilan lämpötilaa sekä suhteellista ilmankosteutta. Näillä arvoilla saatiin myös laskettua tilan sen hetkinen kastepistelämpötila. Dataloggerit sijaitsivat 2,4 metrin korkeudella. Dataloggeri numero yksi sijaitsi serverikaapin etupuolella sijaitsevien jäähdytyspaneelien yläpuolella keskellä huonetta. Tulokset on esitetty kuvassa 24. Dataloggeri numero kaksi sijaitsi serverikaapin takana. Tulokset on esitetty kuvassa 25. Mittaustuloksista voidaan huomata lämpötilan pysytelleen kohtuullisen tasaisena normaalitilanteessa. Serverikaapin edessä lämpötila pysyi hieman 24°C yläpuolella. Laitetilassa pysytään ASHRAE:n suosittelemissa rajoissa sekä lämpötilan että suhteellisen ilmankosteuden osalta. Suhteellinen ilmankosteus vaihteli hieman. Maksimissaan suhteellinen ilmankosteus oli serverikaapin etupuolella noin 18%. Minimissään noin 8%. Serverikaapin takana lämpötila pysyi hieman 25°C:n yläpuolella. Maksimissaan suhteellinen ilmankosteus oli serverikaapin takana noin 18% ja minimissään noin 8%. Kastepistelämpötila ei ole missään vaiheessa ollut lähelläkään paneelien pintalämpötilaa. Kesällä lämpimillä ja kosteilla keleillä voidaan kastepisteen takia joutua rajoittamaan jäähdytyspaneelien menoveden lämpötilaa.

Serverikaapin takaa mitattu lämpötila on hieman korkeampi kuin etupuolen lämpötila, johtuen ilman lämpenemisestä serverikaapin sisällä.



**KUVA 24. Mittaustulokset serverikaapin edestä.**



**KUVA 25. Mittaustulokset serverikaapin takaa.**

### 7.3 Termoparimittauksen tulokset

Termoparimittauksen ensimmäinen mittauskohta oli jäähdytyspaneelin pintalämpötila. Säteilyn aiheuttaman lämpövirran tiheyden voi arvioida käyttämällä MRT-tapaa kaava (12). Laitetilan kaikki seinät ovat rajoittuneet sisätiloihin, joten pintojen lämpötilana

voidaan pitää huonelämpötilaa. Säteilyn aiheuttama lämpövirta oli suurimmillaan kun tilaan oli laitettu kilowatin tehoinen lämpöpuhallin. Silloin säteilyn aiheuttama lämpövirta oli maksimissaan  $42 \text{ W/m}^2$  mittaamaltani paneelilta. Pienimmillään säteilyn aiheuttama lämpövirta oli kun huoneen lämpötila oli  $23,9^\circ\text{C}$  tällöin lämpövirta oli  $29 \text{ W/m}^2$ . Edellä mainitut arvot on mitattu jäähdytysjärjestelmän ollessa käynnissä. Vapaan konvektion aiheuttaman lämpövirran laskin kaavalla (18). Vapaan konvektion aiheuttama lämpövirta oli suurimmillaan myös silloin kun kilowatin tehoinen lämpöpuhallin lämmitti tilaa. Silloin vapaan konvektion aiheuttama lämpövirta oli  $36 \text{ W/m}^2$ . Yhteenlaskettu lämpövirta mitatulta paneelilta oli suurimmillaan  $78 \text{ W/m}^2$ . Vapaan konvektion lämpövirta oli pienimmillään huoneen lämpötilan ollessa  $23,9^\circ\text{C}$ . Tällöin lämpövirta oli  $22,9 \text{ W/m}^2$ . Pienimmillään yhteenlaskettu lämpövirta oli  $56 \text{ W/m}^2$ .

Säteilyjäähdytyspaneelille menevän ja palaavan veden lämpötilaa mitattiin kohdasta, jossa putket tulevat laitetilaan. Meno- ja paluuveden lämpötiloista voidaan huomata, että lämpötilaero pysyttelee  $2\text{--}3^\circ\text{C}$  välillä. Suurimman osan ajasta lämpötilaero on noin  $2^\circ\text{C}$ . Lämpötilaero kasvoi hieman, kun yhden kilowatin lämmitin lisättiin tilaan.

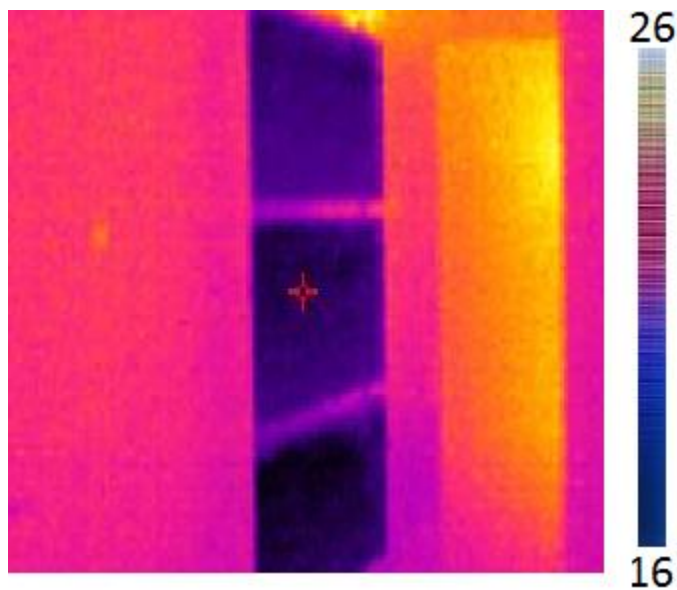
Serverikaapille menevää viileää ilmaa mitattiin kaapin etuosasta. Serverikaapilta pois tulevan lämmenneen ilman lämpötilaa mitattiin kaapin takapuolelta. Serverikaapille sisään menevän ilman lämpötila oli normaalin käytön aikana noin  $23^\circ\text{C}$ . Lämpötila on hieman alhaisempi kuin mitatut huonelämpötilat, johtuen mittauspisteiden sijainnista. Huonelämpötilaa mitattiin 1,8 m korkeudelta ja serverikaapille menevän ilman lämpötilaa yhden metrin korkeudelta. Normaalikäytön aikana serverikaapin takana sijaitsevan mittauspisteen lämpötila oli noin  $3^\circ\text{C}$  korkeampi kuin serverikaapin edessä. Kun jäähdytysjärjestelmä oli suljettuna lämpötilaero alkoi kasvaa. Huonelämpötilan ollessa korkeimmillaan serverikaapille menevän ilman lämpötila oli noin  $32^\circ\text{C}$ . Serverikaapistasta ulos puhalletun ilman lämpötila oli noin  $37^\circ\text{C}$ .

Huonelämpötilaa mitattiin keskeltä huonetta 1,8 metrin korkeudelta. Mittauskohdassa huonelämpötila pysytteli normaalikäytön aikana noin  $24^\circ\text{C}$ . Yhden kilowatin tehoisen lämpöpuhaltimen käynnistämisen jälkeen lämpötila oli noin  $28^\circ\text{C}$ . Kun jäähdytysjärjestelmä oli suljettuna lämpötila oli noin  $32^\circ\text{C}$ .

## 7.4 Lämpökamerakuvauksen tulokset

Lämpökameralla kuvattiin serverilaitteiston ulospuhalluspuolta sekä kuvattiin myös säteilyjäähdytyspaneeleita jäähdytysjärjestelmän ollessa käynnissä. Emissioarvona lämpökamerakuvauksessa käytettiin lukua 0,90. Lämpökameralla otetuista kuvista voidaan todeta, että ulospuhallus puolen laitteiston pintalämpötilat olivat hieman korkeampia silloin, kun jäähdytys oli kytketty pois päältä. Kun laitetilän jäähdytys oli kytketty pois päältä lämpötilojen noustessa myös serverilaitteiston puhaltimet kävivät suuremmalla teholla ja jäähdyttivät serverilaitteiston komponentteja.

Säteilyjäähdytyspaneeleista otetusta lämpökamerakuvasta (kuva 26) näkyy paneelien pintalämpötilojen muuttuvan hieman paneelin pinnalla. Paneelin yläpinta on hieman viileämpi kuin alapinta. Kuva on otettu paneelin etupuolella sijaitsevista säteilyjäähdytyspaneeleista jäähdytysjärjestelmän ollessa käynnissä.



**KUVA 26. Säteilyjäähdytyspaneelit serverikaapin edessä**

## 7.5 Laitehuoneen laitteiden sähkönkulutus.

Laitetilän laitteiston sähkönkulutusta mitattiin sähkönsyötön väliin kytkettävillä sähköenergiamittareilla. Mittauksen aloittamishetkellä otettiin mittauksen aloittamishetkeen mennessä kertyneen mitatun sähköenergian määrän ylös sekä katsottiin mittauksen aloittamisajankohta. Aloitushetkellä 18.03.2015 klo 12.00 sähköenergian määrä oli 9,6 kWh serverikaapille. Ristikytkentäkaapilla lukema oli 2,3 kWh. Mittauksen

aloittamisen ajankohtana serverikaapin sähköteho oli 1200 W ja kytkinkaapin 275 W. Jäähdytystehontarvetta huoneessa aloittamishetkellä oli 1475 W. Mittausten päättämishetkellä serverikaapin laitteiston sähkönkulutus oli 72,2 kWh. Mittausajan sähkönkulutus serverikaapin laitteistolle oli 62,6 kWh. Serverikaapin laitteiston teho mitausten lopettamishetkellä 20.03.2015 klo 15.30 oli 1250 W. Mitatun ajanjakson pituus oli 51 tuntia 30 minuuttia. Laitteiston keskimääräinen tehonkulutus on ollut mitausajanjaksolla 1216 W. Ristikytkentäkaapin sähkönkulutus mittausten lopettamishetkellä oli 15,9 kWh. Ristikytkentäkaapin teho mittausten lopettamishetkellä oli 270 W. Keskimääräinen tehonkulutus ristikytkentäkaapilla on ollut 264 W.

## 8 YHTEENVETO

Laitetilan jäähdyttäminen säteilyjäähdytyspaneelilla onnistuu toteuttamaan laitetilan sisäilmaston tavoitteet mitatussa kohteessa. Lämpötilan kanssa ongelmia tulee jos laitetilaan lisätään lämpökuormaa. Hyvinä puolena mainittakoon se, että energiatehokkuus säteilyjäähdytyspaneelilla käyttäen on parempi verraten ilmajäähdytykseen koska veden energiansiirtokapasiteetti on parempi kuin ilmalla. Huono puoli kohteen jäähdytyksessä on, että laitetilaan ei voida lisätä lämpökuormaa. Jäähdytysteho ei riitä suuremmalle kuormalle. Jos tilan jäähdytys olisi toteutettu siten, että tilan jäähdytystehontarve kasvaisi tulevaisuudessa olisi jäähdytys jouduttu toteuttamaan jotakin muuta tapaa käyttäen. Kuitenkin nykyisellä normaalin käytön aikaisella lämpökuormalla säteilyjäähdytys on hyvin toimiva ratkaisu tutkittuun laitetilaan.

Säteilyjäähdytys on pohdinnan arvoinen ratkaisu pienissä laitetoiloissa. Kuitenkin usein laitetoiltojen jäähdytystehontarpeet ovat huomattavasti korkeampia kuin mitatussa kohteessa. Jäähdytyksen tehontarve voi olla tehokkaalla serverikaapilla 30 kW luokkaa. Yhden suuritehoisen serverikaapin jäähdyttäminen vaatisi jopa 300 m<sup>2</sup> säteilypinta-alaa. Toisin sanoen säteilyjäähdytyksen ongelma laitetoiloissa ja konesaleissa on suuren säteilypinta-alan tarve.

Säteilyjäähdytystä laitetilaan suunniteltaessa on otettava huomioon kastepiste. Menoveden lämpötilaa on jäähdytystehon kannalta pidettävä alhaisena. On kuitenkin tärkeää pitää menoveden lämpötila kastepistettä korkeampana, että vältetään kondensoitu-

misongelmilta. Mitattuun kohteeseen on toteutettu kastepistesäättö. Tehtyjen mittaus-  
ten aikana ei havaittu kondensoitumisongelmia.

Suurempiin laitetiloihin ja konesaleihin ei jäähdytystä ole järkevää toteuttaa säteily-  
jäähdytyspaneelilla. Sillä suurissa konesaleissa ongelmaksi muodostuisi myös kyl-  
mä/kuuma käytäväjärjestelyn toteuttaminen. Kylmä/kuuma käytävän toteutuminen  
suurissa laitetoissa ja konesaleissa on tärkeää. Laitteiston jäähtymisen kannalta on  
huono asia jos kuuma sekä viileä ilmavirta sekoittuvat keskenään.

Säteilyjäähdytyksen huono puoli laitteiden jäähdyttämisessä on myös, että säteily-  
jäähdytys jäähdyttää pintoja säteilyn avulla ja vain hieman ilmaa vapaan konvektion  
kautta. Serverilaitteiston komponenttien jäähdytys toteutetaan yleensä viileällä ilma-  
virralla. Tämän takia perinteinen ilmajäähdytys on tehokas tapa jäähdyttää laitteistoa  
ilmavirtojen suuntien ollessa oikein suunniteltuja. Ongelma on myös se, että joitakin  
käyttäjiä saattaa pelottaa ajatus laitetilasta, jossa on suuri määrä vesiputkia ja niiden  
liitoskohtia, sillä putkivuodon tapahtuessa vaarana on tärkeiden ja kalliiden sähkölait-  
teiden rikkoontuminen.

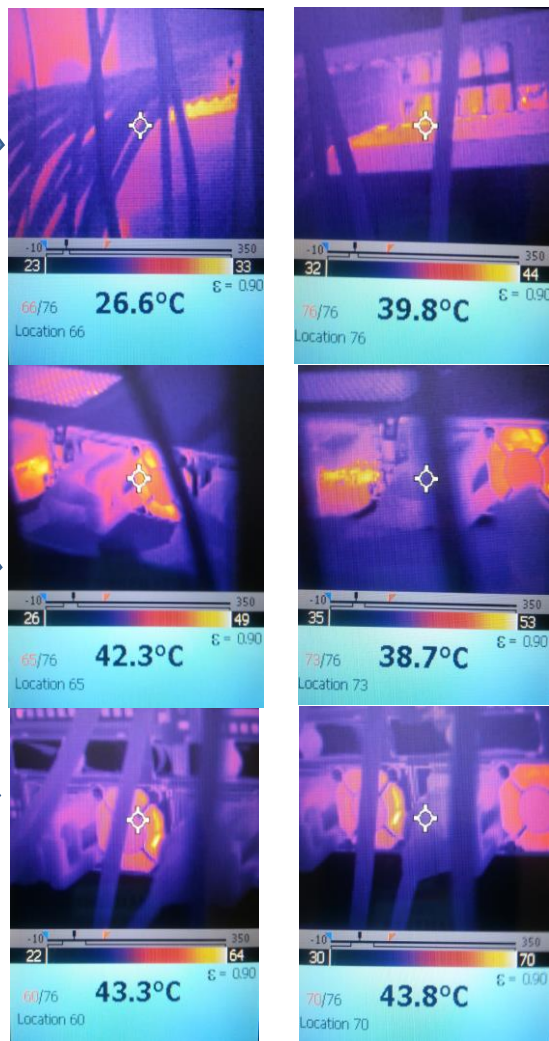


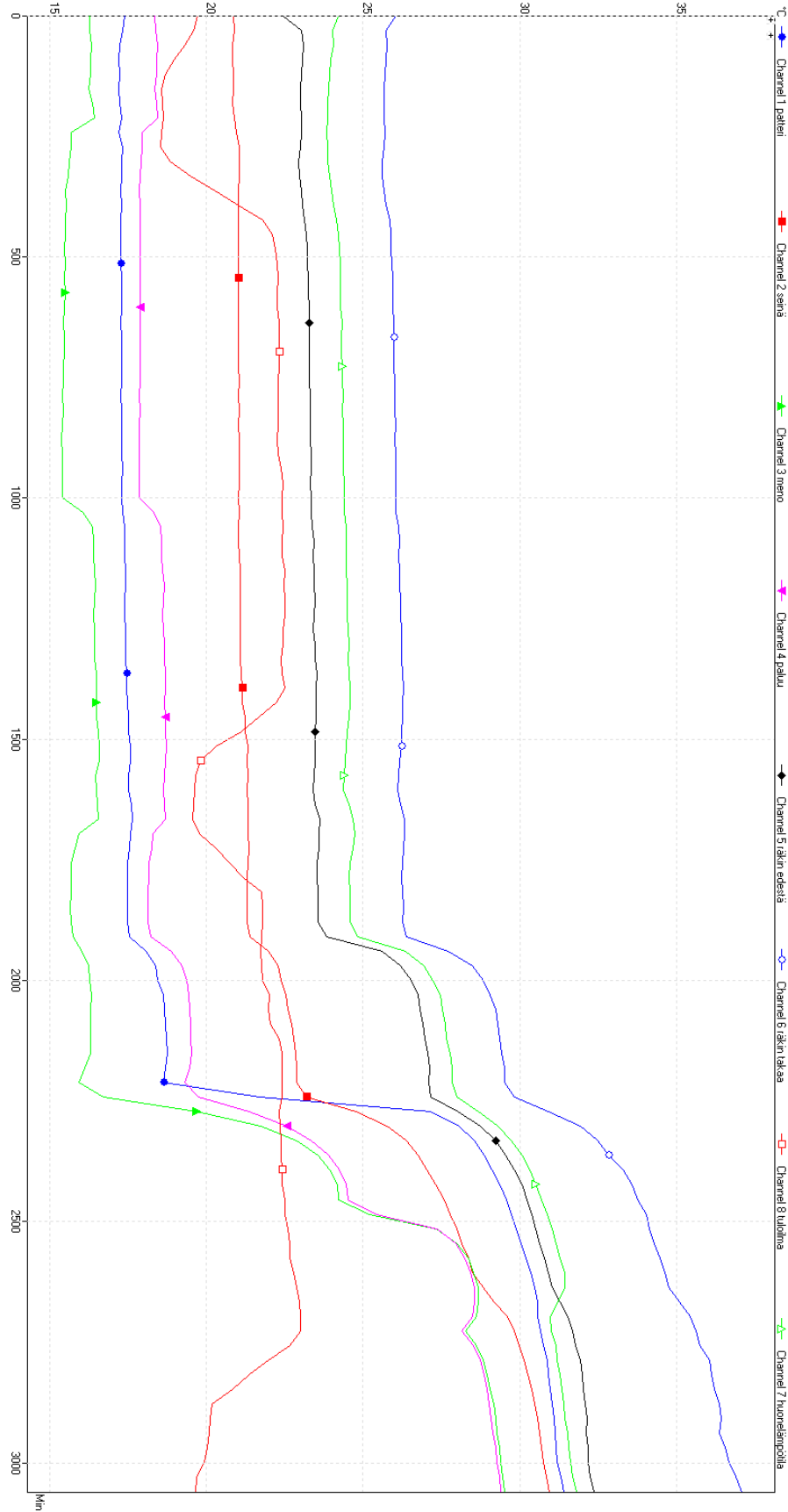
## LÄHTEET

1. Babiak, Jan; Olesen Bjarne; Petras, Dusan 2009. Low temperature heating and high temperature cooling. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
2. VTT. Säteilylämmönsiiron laskennasta. PDF –dokumentti  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T116.pdf>. Päivitetty 18.12.2013. Luettu 5.11.2014.
3. ASHRAE 2004. ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment.
4. ASHRAE 2005. ASHRAE Handbook Fundamentals.
5. SFS-EN ISO 7726. Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.
6. Energy Design Resources. Design brief Radiant Cooling. PDF-dokumentti  
[http://energydesignresources.com/media/1783/EDR\\_DesignBriefs\\_radiantcooling.pdf?tracked=true](http://energydesignresources.com/media/1783/EDR_DesignBriefs_radiantcooling.pdf?tracked=true). Päivitetty 1.10.2010. Luettu 3.10.2014.
7. Applied Thermal Engineering 2002. Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions. s. 1861-1873. PDF-dokumentti
8. Fanger, P.O. 1970. Thermal Comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Yhdysvallat: McGraw-Hill Book Company.
9. Lu, Tao; Lü, Xiashu; Remes Matias; Viljanen, Martti 2011. Investigation of air management and performance in data center in Finland. PDF-dokumentti. Luettu 5.11.2014
10. Motiva. Energiatuhkan Konesali. PDF-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatuhkan\\_konesali.pdf](http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatuhkan_konesali.pdf). Luettu 5.11.2014. Päivitetty 29.11.2011.
11. Fakhim, B; Behnia, M; Armfield, N; Srinarayana, N 2011. Cooling solutions in an operational data centre. PDF-dokumentti. Luettu 3.10.2014.
12. Etelä-Suomen Prosessisysteemi Oy. Energiatuhkan ATK-konesaleissa ja sähkötiloissa. WWW-dokumentti. <http://www.prssystem.fi/energiatuhkan-atk-konesaleissa-ja-sahkotiloissa/> Päivitetty 3.12.2014. Luettu 3.12.2014
13. ASHRAE TC 9.9 2011. Thermal Guidelines for Data Processing Environments - Expanded Data Center Classes and Usage Guidance. PDF-dokumentti.  
[http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae\\_2011\\_thermal\\_guidelines\\_data\\_center.pdf](http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae_2011_thermal_guidelines_data_center.pdf). Päivitetty 3.12.2012. Luettu 3.10.2014.
14. ASHRAE 2005. Datacom Equipment Power Trends and Cooling Applications.

15. Motiva. Selvitys IT-ympäristön sähkönsäästökeinoista – Konesalipalvelujen energiatehokkuuden periaatteet. PDF-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/files/4427/Konesalipalvelujen\\_energiatehokkuuden\\_periaatteet.pdf](http://www.motiva.fi/files/4427/Konesalipalvelujen_energiatehokkuuden_periaatteet.pdf). Päivitetty 16.6.2011. Luettu 26.11.2014.

## JÄÄHDYTYS POIS PÄÄLTÄ





## Termoparimittauksen tulokset ja säteilyn sekä vapaan konvektion lämpövirta

Time	Paneeli	seinä	menovesi	paluuvesi	DT	räkin edestä	räkin takaa	tuloilma	huonelämpötila		IV jääh.teho	säteily lämp.vir	konv.lämp.virt	Konv.+ sät
min	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		W/m2	W/m2	W/m2	W/m2
0	17,33	21	16,18	18,35	2,2	21,89	26,01	19,78	24,14		78,48	-34,58	-24,14	-58,71
30	17,49	21	16,37	18,4	2	23,03	26,08	19,67	24,26		82,62	-34,42	-23,95	-58,37
60	17,34	21	16,28	18,4	2,1	23,05	25,74	19,6	24,04		79,92	-34,00	-23,62	-57,63
90	17,25	21	16,33	18,46	2,1	23,09	25,77	19,33	24,05		84,96	-34,49	-24,09	-58,59
120	17,22	21	16,32	18,41	2,1	23,06	25,72	18,98	23,96		89,64	-34,17	-23,81	-57,98
150	17,25	21	16,33	18,41	2,1	23,04	25,7	18,69	23,93		94,32	-33,87	-23,53	-57,40
180	17,21	21	16,26	18,37	2,1	23,02	25,66	18,56	23,91		96,3	-33,96	-23,62	-57,58
210	17,24	21	16,38	18,41	2	23,01	25,66	18,61	23,88		94,86	-33,65	-23,35	-57,00
240	17,3	21	16,45	18,46	2	23,05	25,69	18,64	23,89		94,5	-33,41	-23,11	-56,52
270	17,22	21	15,71	17,96	2,3	23,04	25,71	18,56	23,86		95,4	-33,65	-23,35	-56,99
300	17,34	21	15,69	17,94	2,3	23	25,66	18,55	23,88		95,94	-33,16	-22,88	-56,04
330	17,31	21	15,62	17,92	2,3	22,95	25,61	18,84	23,89		90,9	-33,36	-23,07	-56,43
360	17,29	21	15,6	17,89	2,3	22,99	25,61	19,49	23,93		79,92	-33,67	-23,35	-57,01
390	17,26	21	15,52	17,87	2,4	23,02	25,68	20,27	23,99		66,96	-34,13	-23,76	-57,89
420	17,3	21	15,55	17,9	2,4	23,08	25,74	21,03	24,07		54,72	-34,35	-23,95	-58,31
450	17,29	21	15,51	17,88	2,4	23,14	25,84	21,8	24,16		42,48	-34,88	-24,42	-59,29
480	17,29	21	15,51	17,89	2,4	23,2	25,9	22,11	24,22		37,98	-35,19	-24,70	-59,89
510	17,28	21	15,49	17,89	2,4	23,21	25,9	22,19	24,24		36,9	-35,35	-24,84	-60,19
540	17,28	21	15,5	17,9	2,4	23,23	25,92	22,26	24,26		36	-35,45	-24,94	-60,39
570	17,29	21	15,48	17,9	2,4	23,25	25,94	22,3	24,28		35,64	-35,51	-24,98	-60,49
600	17,29	21	15,49	17,88	2,4	23,26	25,95	22,27	24,28		36,18	-35,51	-24,98	-60,49
630	17,31	21	15,48	17,9	2,4	23,27	25,96	22,25	24,28		36,54	-35,41	-24,89	-60,30
660	17,29	21	15,45	17,9	2,5	23,28	25,99	22,32	24,32		36	-35,72	-25,17	-60,89
690	17,29	21	15,46	17,89	2,4	23,28	25,97	22,34	24,31		35,46	-35,67	-25,12	-60,79
720	17,29	21	15,47	17,9	2,4	23,28	25,98	22,33	24,31		35,64	-35,67	-25,12	-60,79
750	17,29	21	15,45	17,88	2,4	23,29	25,98	22,32	24,33		36,18	-35,77	-25,22	-60,99
780	17,3	21	15,45	17,89	2,4	23,3	26	22,3	24,34		36,72	-35,77	-25,22	-60,99
810	17,28	21	15,42	17,87	2,5	23,3	26,01	22,28	24,36		37,44	-35,98	-25,41	-61,39
840	17,31	21	15,44	17,88	2,4	23,32	26,02	22,3	24,35		36,9	-35,78	-25,22	-61,00
870	17,31	21	15,42	17,87	2,5	23,32	26,03	22,29	24,37		37,44	-35,88	-25,31	-61,20
900	17,31	21	15,4	17,85	2,5	23,32	26,01	22,27	24,36		37,62	-35,83	-25,27	-61,10
930	17,3	21	15,4	17,85	2,5	23,34	26,03	22,28	24,37		37,62	-35,93	-25,36	-61,29
960	17,32	21	15,42	17,86	2,4	23,34	26,03	22,39	24,38		35,82	-35,89	-25,31	-61,20
990	17,31	21	15,43	17,86	2,4	23,33	26,05	22,44	24,39		35,1	-35,99	-25,41	-61,40
##	17,3	21	15,42	17,85	2,4	23,35	26,04	22,42	24,39		35,46	-36,04	-25,46	-61,49
1050	17,34	21	16,05	18,31	2,3	23,36	26,05	22,42	24,4		35,64	-35,89	-25,31	-61,21
##	17,38	21	16,36	18,55	2,2	23,38	26,13	22,45	24,45		36	-35,96	-25,36	-61,32
1110	17,39	21	16,39	18,59	2,2	23,43	26,15	22,43	24,47		36,72	-36,02	-25,41	-61,43
1140	17,38	21	16,4	18,59	2,2	23,41	26,14	22,42	24,47		36,9	-36,07	-25,46	-61,52
1170	17,43	21	16,42	18,62	2,2	23,43	26,15	22,52	24,47		35,1	-35,82	-25,22	-61,04
##	17,42	21	16,47	18,65	2,2	23,45	26,18	22,48	24,48		36	-35,92	-25,31	-61,24
##	17,41	21	16,44	18,64	2,2	23,46	26,18	22,5	24,5		36	-36,08	-25,46	-61,53

## Termoparimittauksen tulokset ja säteilyn sekä vapaan konvektion lämpövirta

##	17,41	21	16,4	18,61	2,2	23,45	26,19	22,5	24,51		36,18	-36,13	-25,50	-61,63
##	17,43	21	16,43	18,63	2,2	23,42	26,23	22,45	24,51		37,08	-36,03	-25,41	-61,44
##	17,43	21	16,45	18,66	2,2	23,47	26,23	22,44	24,54		37,8	-36,19	-25,55	-61,74
1350	17,43	21	16,45	18,67	2,2	23,48	26,24	22,38	24,53		38,7	-36,14	-25,50	-61,64
##	17,47	21	16,5	18,7	2,2	23,52	26,25	22,42	24,57		38,7	-36,15	-25,50	-61,66
1410	17,47	21	16,5	18,69	2,2	23,51	26,28	22,5	24,58		37,44	-36,21	-25,55	-61,76
##	17,48	21	16,51	18,68	2,2	23,5	26,26	22,24	24,58		42,12	-36,16	-25,50	-61,66
1470	17,51	21	16,51	18,71	2,2	23,5	26,26	21,67	24,55		51,84	-35,85	-25,22	-61,07
1500	17,53	21	16,55	18,7	2,2	23,47	26,23	21,11	24,5		61,02	-35,49	-24,89	-60,38
1530	17,59	21	16,59	18,72	2,1	23,46	26,21	20,31	24,47		74,88	-35,04	-24,47	-59,50
1560	17,58	21	16,58	18,69	2,1	23,47	26,18	19,8	24,42		83,16	-34,82	-24,28	-59,10
1590	17,52	21	16,48	18,67	2,2	23,44	26,15	19,65	24,39		85,32	-34,96	-24,42	-59,38
##	17,53	21	16,51	18,64	2,1	23,41	26,12	19,63	24,36		85,14	-34,75	-24,23	-58,98
1650	17,61	21	16,54	18,68	2,1	23,48	26,2	19,6	24,57		89,46	-35,47	-24,84	-60,31
##	17,64	21	16,55	18,69	2,1	23,63	26,32	19,55	24,69		92,52	-35,95	-25,27	-61,22
1710	17,59	21	15,94	18,3	2,4	23,58	26,34	19,8	24,75		89,1	-36,51	-25,79	-62,30
1740	17,56	21	15,81	18,25	2,4	23,58	26,3	20,32	24,69		78,66	-36,34	-25,65	-61,99
1770	17,49	21	15,69	18,17	2,5	23,54	26,27	20,74	24,57		68,94	-36,06	-25,41	-61,46
##	17,5	21	15,7	18,16	2,5	23,53	26,24	21,17	24,55		60,84	-35,90	-25,27	-61,17
##	17,48	21	15,68	18,16	2,5	23,55	26,26	21,77	24,58		50,58	-36,16	-25,50	-61,66
##	17,48	21	15,66	18,16	2,5	23,57	26,28	21,79	24,6		50,58	-36,26	-25,60	-61,86
##	17,49	21	15,69	18,15	2,5	23,56	26,27	21,78	24,59		50,58	-36,16	-25,50	-61,66
##	17,57	21	15,75	18,22	2,5	23,85	26,37	21,75	24,84		55,62	-37,09	-26,31	-63,40
1950	18,07	22	16,04	18,88	2,8	25,6	27,73	21,72	26,34		83,16	-42,62	-31,19	-73,82
##	18,38	22	16,24	19,24	3	26,21	28,5	21,77	26,94		93,06	-44,32	-32,64	-76,97
##	18,47	22	16,29	19,37	3,1	26,53	28,85	21,8	27,22		97,56	-45,39	-33,60	-79,00
##	18,64	23	16,35	19,46	3,1	26,76	29,04	22,01	27,47		98,28	-45,91	-34,01	-79,92
##	18,65	23	16,33	19,49	3,2	26,81	29,23	21,99	27,52		99,54	-46,13	-34,21	-80,34
##	18,69	23	16,32	19,49	3,2	26,92	29,29	22,03	27,61		100,44	-46,42	-34,47	-80,89
##	18,72	23	16,3	19,51	3,2	26,97	29,37	22,32	27,66		96,12	-46,54	-34,57	-81,11
##	18,77	23	16,32	19,55	3,2	27,07	29,42	22,42	27,78		96,48	-46,95	-34,93	-81,87
##	18,71	23	16,12	19,46	3,3	27,14	29,52	22,41	27,84		97,74	-47,57	-35,54	-83,11
##	18,64	23	15,93	19,31	3,4	27,1	29,5	22,43	27,85		97,56	-47,97	-35,95	-83,93
##	21,69	23	16,72	19,75	3	27,15	29,82	22,42	27,99		100,26	-33,34	-21,78	-55,12
##	27,15	25	19,7	21,37	1,7	28,02	30,91	22,32	28,67		114,3	-8,30	-3,33	-11,63
##	28,07	26	21,74	22,58	0,8	28,75	31,93	22,36	29,29		124,74	-6,71	-2,49	-9,20
##	28,55	26	22,89	23,36	0,5	29,23	32,48	22,39	29,74		132,3	-6,57	-2,41	-8,99
##	28,86	27	23,58	23,92	0,3	29,55	32,83	22,39	30,06		138,06	-6,65	-2,44	-9,09
##	29,12	27	23,94	24,25	0,3	29,82	33,29	22,41	30,32		142,38	-6,67	-2,44	-9,11
##	29,34	27	24,18	24,47	0,3	30,07	33,58	22,43	30,49		145,08	-6,40	-2,31	-8,71
##	29,56	28	24,22	24,52	0,3	30,22	33,77	22,51	30,7		147,42	-6,36	-2,28	-8,64
##	29,72	28	25,21	25,44	0,2	30,4	34,03	22,51	30,88		150,66	-6,48	-2,33	-8,82
##	29,89	28	27,36	27,38	0	30,51	34,14	22,59	31,03		151,92	-6,38	-2,28	-8,66
##	30,05	28	28	27,96	-0	30,64	34,3	22,65	31,16		153,18	-6,22	-2,20	-8,42
##	30,21	28	28,35	28,26	-0	30,78	34,47	22,68	31,28		154,8	-6,01	-2,10	-8,10

## Termoparimittauksen tulokset ja säteilyn sekä vapaan konvektion lämpövirta

##	30,34	29	28,52	28,42	-0	30,92	34,62	22,8	31,43		155,34	-6,13	-2,15	-8,28
##	30,47	29	28,68	28,55	-0	31,03	34,74	22,9	31,44		153,72	-5,46	-1,84	-7,30
##	30,58	29	28,67	28,57	-0	31,29	35,09	22,98	31,22		148,32	-3,60	-1,06	-4,66
##	30,56	30	28,61	28,5	-0	31,52	35,43	23,01	30,97		143,28	-2,30	-0,59	-2,89
##	30,66	30	28,28	28,16	-0	31,7	35,61	23,02	31,01		143,82	-1,97	-0,48	-2,45
##	30,75	30	28,6	28,52	-0	31,77	35,75	22,65	31,16		153,18	-2,31	-0,59	-2,90
##	30,88	30	28,84	28,74	-0	31,94	36,05	21,98	31,19		165,78	-1,75	-0,41	-2,15
##	30,9	30	28,96	28,86	-0	31,98	36,11	21,35	31,27		178,56	-2,08	-0,52	-2,60
##	30,98	30	29,06	28,95	-0	32,03	36,22	20,84	31,33		188,82	-1,97	-0,48	-2,45
##	31,04	30	29,16	29,03	-0	32,07	36,35	20,18	31,39		201,78	-1,97	-0,48	-2,45
##	31,08	31	29,22	29,09	-0	32,14	36,43	20,11	31,43		203,76	-1,97	-0,48	-2,45
##	31,12	31	29,25	29,14	-0	32,13	36,36	20,09	31,53		205,92	-2,31	-0,59	-2,91
##	31,16	31	29,35	29,23	-0	32,18	36,54	20,02	31,57		207,9	-2,32	-0,59	-2,91
##	31,2	31	29,39	29,28	-0	32,17	36,67	19,94	31,62		210,24	-2,37	-0,61	-2,98
##	31,31	31	29,46	29,35	-0	32,24	36,89	19,7	31,69		215,82	-2,15	-0,53	-2,68
##	31,4	31	29,5	29,39	-0	32,37	37,06	19,65	31,81		218,88	-2,32	-0,59	-2,91

## Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin edestä

Serverikaapin edestä mitta						
NO	Temp		RH		kastepiste	
1	22,1	C	20,3	%RH	6,16	°C
2	24,2	C	14,6	%RH	7,12	°C
3	24,1	C	13,6	%RH	6,82	°C
4	23,9	C	13	%RH	6,5	°C
5	23,8	C	12,6	%RH	6,32	°C
6	23,7	C	12,6	%RH	6,22	°C
7	23,7	C	12,6	%RH	6,22	°C
8	23,7	C	12,8	%RH	6,26	°C
9	23,7	C	13	%RH	6,3	°C
10	23,7	C	13,1	%RH	6,32	°C
11	23,8	C	12,8	%RH	6,36	°C
12	23,8	C	12,2	%RH	6,24	°C
13	23,8	C	11,7	%RH	6,14	°C
14	23,9	C	12	%RH	6,3	°C
15	24	C	11,9	%RH	6,38	°C
16	24	C	12,1	%RH	6,42	°C
17	24	C	12,3	%RH	6,46	°C
18	24,1	C	12,4	%RH	6,58	°C
19	24,1	C	12,5	%RH	6,6	°C
20	24,1	C	12,5	%RH	6,6	°C
21	24,1	C	12,6	%RH	6,62	°C
22	24,2	C	12,7	%RH	6,74	°C
23	24,2	C	12,7	%RH	6,74	°C
24	24,2	C	12,8	%RH	6,76	°C
25	24,2	C	12,8	%RH	6,76	°C
26	24,2	C	12,8	%RH	6,76	°C
27	24,2	C	12,7	%RH	6,74	°C
28	24,2	C	12,7	%RH	6,74	°C
29	24,2	C	12,7	%RH	6,74	°C
30	24,2	C	12,6	%RH	6,72	°C
31	24,2	C	12,6	%RH	6,72	°C
32	24,2	C	12,5	%RH	6,7	°C
33	24,3	C	12,5	%RH	6,8	°C
34	24,3	C	12,3	%RH	6,76	°C
35	24,3	C	12,2	%RH	6,74	°C
36	24,3	C	12,2	%RH	6,74	°C
37	24,3	C	12,3	%RH	6,76	°C
38	24,4	C	12,3	%RH	6,86	°C
39	24,3	C	12,2	%RH	6,74	°C
40	24,3	C	12,2	%RH	6,74	°C
41	24,4	C	12,4	%RH	6,88	°C
42	24,4	C	12,5	%RH	6,9	°C



## Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin edestä

43	24,4	C	12,8	%RH	6,96	°C
44	24,4	C	13,1	%RH	7,02	°C
45	24,4	C	13,5	%RH	7,1	°C
46	24,4	C	13,6	%RH	7,12	°C
47	24,4	C	13,7	%RH	7,14	°C
48	24,5	C	13,9	%RH	7,28	°C
49	24,4	C	14,3	%RH	7,26	°C
50	24,4	C	14,5	%RH	7,3	°C
51	24,4	C	14,6	%RH	7,32	°C
52	24,4	C	14,6	%RH	7,32	°C
53	24,3	C	14,7	%RH	7,24	°C
54	24,3	C	14,8	%RH	7,26	°C
55	24,3	C	15,7	%RH	7,44	°C
56	24,6	C	15,4	%RH	7,68	°C
57	24,7	C	15,2	%RH	7,74	°C
58	24,9	C	15,2	%RH	7,94	°C
59	24,7	C	15,5	%RH	7,8	°C
60	24,5	C	15,8	%RH	7,66	°C
61	24,5	C	16,1	%RH	7,72	°C
62	24,5	C	16,5	%RH	7,8	°C
63	24,5	C	16,7	%RH	7,84	°C
64	24,5	C	17,1	%RH	7,92	°C
65	25	C	17,7	%RH	8,54	°C
66	26,1	C	16,3	%RH	9,36	°C
67	26,6	C	15,9	%RH	9,78	°C
68	26,9	C	16	%RH	10,1	°C
69	27,1	C	16,3	%RH	10,36	°C
70	27,3	C	15,8	%RH	10,46	°C
71	27,3	C	15,6	%RH	10,42	°C
72	27,5	C	15,5	%RH	10,6	°C
73	27,5	C	15,3	%RH	10,56	°C
74	27,6	C	15,2	%RH	10,64	°C
75	27,6	C	15,4	%RH	10,68	°C
76	27,6	C	15	%RH	10,6	°C
77	27,9	C	14,5	%RH	10,8	°C
78	28,3	C	13,8	%RH	11,06	°C
79	28,7	C	13	%RH	11,3	°C
80	29	C	12,1	%RH	11,42	°C
81	29,2	C	11,4	%RH	11,48	°C
82	29,4	C	10,5	%RH	11,5	°C
83	29,6	C	10	%RH	11,6	°C
84	29,7	C	9,6	%RH	11,62	°C
85	29,9	C	9,4	%RH	11,78	°C
86	30	C	9,2	%RH	11,84	°C
87	30,2	C	9,2	%RH	12,04	°C

## Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin edestä

88	30,3	C	9,3	%RH	12,16	°C
89	30,4	C	9,2	%RH	12,24	°C
90	30,2	C	9,4	%RH	12,08	°C
91	30,1	C	9,3	%RH	11,96	°C
92	30,2	C	9	%RH	12	°C
93	30,3	C	10,2	%RH	12,34	°C
94	30,4	C	8,9	%RH	12,18	°C
95	30,5	C	8,4	%RH	12,18	°C
96	30,5	C	8,1	%RH	12,12	°C
97	30,6	C	8	%RH	12,2	°C
98	30,7	C	8	%RH	12,3	°C
99	30,7	C	7,8	%RH	12,26	°C
100	30,8	C	7,6	%RH	12,32	°C
101	30,8	C	7,5	%RH	12,3	°C
102	30,9	C	7,5	%RH	12,4	°C
103	31	C	8,2	%RH	12,64	°C

## Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin takaa

Serverikaapin takaa mittaus						
NO	Temp		RH		kastepiste	
1	22,3	C	26,9	%RH	7,68	°C
2	24,5	C	15,7	%RH	7,64	°C
3	24,7	C	14,5	%RH	7,6	°C
4	24,7	C	13,8	%RH	7,46	°C
5	24,6	C	13,4	%RH	7,28	°C
6	24,6	C	13,3	%RH	7,26	°C
7	24,6	C	13,4	%RH	7,28	°C
8	24,5	C	13,4	%RH	7,18	°C
9	24,6	C	13,7	%RH	7,34	°C
10	24,6	C	13,7	%RH	7,34	°C
11	24,6	C	13,5	%RH	7,3	°C
12	24,7	C	12,9	%RH	7,28	°C
13	24,7	C	12,5	%RH	7,2	°C
14	24,8	C	12,7	%RH	7,34	°C
15	24,8	C	12,6	%RH	7,32	°C
16	24,9	C	12,8	%RH	7,46	°C
17	25	C	13	%RH	7,6	°C
18	25	C	13	%RH	7,6	°C
19	25	C	13,2	%RH	7,64	°C
20	25	C	13,2	%RH	7,64	°C
21	25	C	13,2	%RH	7,64	°C
22	25	C	13,4	%RH	7,68	°C
23	25,1	C	13,4	%RH	7,78	°C
24	25,1	C	13,4	%RH	7,78	°C
25	25,1	C	13,4	%RH	7,78	°C
26	25,1	C	13,4	%RH	7,78	°C
27	25,2	C	13,4	%RH	7,88	°C
28	25,1	C	13,4	%RH	7,78	°C
29	25,1	C	13,3	%RH	7,76	°C
30	25,1	C	13,3	%RH	7,76	°C
31	25,2	C	13,2	%RH	7,84	°C
32	25,2	C	13,2	%RH	7,84	°C
33	25,1	C	13,1	%RH	7,72	°C
34	25,1	C	12,9	%RH	7,68	°C
35	25,2	C	12,8	%RH	7,76	°C
36	25,2	C	12,9	%RH	7,78	°C
37	25,2	C	12,9	%RH	7,78	°C
38	25,2	C	12,9	%RH	7,78	°C
39	25,3	C	12,9	%RH	7,88	°C
40	25,3	C	12,9	%RH	7,88	°C
41	25,3	C	13	%RH	7,9	°C

## Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin takaa

42	25,3	C	13,2	%RH	7,94	°C
43	25,3	C	13,4	%RH	7,98	°C
44	25,3	C	13,8	%RH	8,06	°C
45	25,3	C	14	%RH	8,1	°C
46	25,3	C	14,1	%RH	8,12	°C
47	25,3	C	14,2	%RH	8,14	°C
48	25,3	C	14,4	%RH	8,18	°C
49	25,3	C	14,7	%RH	8,24	°C
50	25,4	C	15	%RH	8,4	°C
51	25,4	C	15	%RH	8,4	°C
52	25,3	C	15,1	%RH	8,32	°C
53	25,3	C	15,1	%RH	8,32	°C
54	25,3	C	15,1	%RH	8,32	°C
55	25,3	C	16,1	%RH	8,52	°C
56	25,4	C	16,1	%RH	8,62	°C
57	25,4	C	15,8	%RH	8,56	°C
58	25,5	C	15,8	%RH	8,66	°C
59	25,5	C	16,1	%RH	8,72	°C
60	25,4	C	16,2	%RH	8,64	°C
61	25,3	C	16,5	%RH	8,6	°C
62	25,4	C	16,8	%RH	8,76	°C
63	25,4	C	17	%RH	8,8	°C
64	25,4	C	17,4	%RH	8,88	°C
65	25,6	C	18,1	%RH	9,22	°C
66	26,5	C	17,1	%RH	9,92	°C
67	27	C	16,7	%RH	10,34	°C
68	27,3	C	16,7	%RH	10,64	°C
69	27,5	C	17,1	%RH	10,92	°C
70	27,6	C	16,6	%RH	10,92	°C
71	27,8	C	16,4	%RH	11,08	°C
72	27,8	C	16,3	%RH	11,06	°C
73	27,9	C	16,2	%RH	11,14	°C
74	27,9	C	16	%RH	11,1	°C
75	28	C	16,3	%RH	11,26	°C
76	28,2	C	15,8	%RH	11,36	°C
77	28,9	C	15	%RH	11,9	°C
78	29,4	C	14,3	%RH	12,26	°C
79	29,8	C	13,6	%RH	12,52	°C
80	30,1	C	12,6	%RH	12,62	°C
81	30,3	C	12	%RH	12,7	°C
82	30,6	C	11,2	%RH	12,84	°C
83	30,7	C	10,7	%RH	12,84	°C
84	30,9	C	10,4	%RH	12,98	°C
85	31,1	C	10,2	%RH	13,14	°C
86	31,2	C	10	%RH	13,2	°C

## Dataloggerimittauksen tulokset serverikaapin takaa

87	31,3	C	10	%RH	13,3	°C
88	31,5	C	10,1	%RH	13,52	°C
89	31,6	C	10,1	%RH	13,62	°C
90	31,6	C	10	%RH	13,6	°C
91	31,6	C	9,9	%RH	13,58	°C
92	31,6	C	9,7	%RH	13,54	°C
93	31,7	C	10,7	%RH	13,84	°C
94	31,7	C	9,6	%RH	13,62	°C
95	31,8	C	9,1	%RH	13,62	°C
96	31,8	C	8,9	%RH	13,58	°C
97	31,8	C	8,8	%RH	13,56	°C
98	31,9	C	8,8	%RH	13,66	°C
99	31,9	C	8,6	%RH	13,62	°C
100	32	C	8,4	%RH	13,68	°C
101	32,1	C	8,3	%RH	13,76	°C
102	32,2	C	8,3	%RH	13,86	°C
103	32,2	C	9,3	%RH	14,06	°C
104	32,4	C	11,3	%RH	14,66	°C